

BACHELOROPPGAVE

Geologisk kartlegging av tunnelalternativ for E39 Myrmel - Lunde, Gaular kommune

av

107 Vegard Nes
104 Ole Fillip Grøv
124 Tor Takle Bore

Geological mapping of alternative tunnel-corridors for E39 Myrmel- Lunde, Gaular municipality

Geologi og geofare

GE 491

Juni 2015



Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen i Sogn og Fjordane sitt institusjonelle arkiv (Brage)

Jeg gir med dette Høgskulen i Sogn og Fjordane tillatelse til å publisere oppgaven Geologisk kartlegging av tunnelalternativ for E39 Myrmel - Lunde, Gaular kommune i Brage hvis karakteren A eller B er oppnådd.

Jeg garanterer at jeg er opphavsperson til oppgaven, sammen med eventuelle medforfattere. Opphavsrettslig beskyttet materiale er brukt med skriftlig tillatelse.

Jeg garanterer at oppgaven ikke inneholder materiale som kan stride mot gjeldende norsk rett.

Ved gruppeinnlevering må alle i gruppa samtykke i avtalen.

Fyll inn kandidatnummer og navn og sett kryss:

107 Vegard Nes

JA ☒ NEI ☐

104 Ole Fillip Grøv

JA ☒ NEI ☐

124 Tor Takle Bore

JA ☒ NEI ☐

Forord

Bacheloroppgaven utgjør en avsluttende del av vår utdanningsperiode ved Høgskulen i Sogn og Fjordane under studiet Geologi og geofare.

Oppgaven har blitt til gjennom et helt år, med hovedtyngden av arbeidet våren 2015.

Vi har gjennom oppgaven vi har valgt fått muligheten til å samarbeide med Statens vegvesen. Dette har gjort at vi har fått jobbe med en relevant problemstilling som kan gi oss erfaring for senere jobbmuligheter. Vi har fått tilgang til data og tidligere arbeid utført av Statens Vegvesen, og dermed fått innblikk i deres arbeidsprosesser.

Takk til våre veiledere Ingrid Hynne og Helge Henriksen for verdifulle tilbakemeldinger gjennom bachelorperioden.

Sogndal, 21. mai 2015

Vegard Nes, Ole Fillip Grøv og Tor Takle Bore

Sammendrag

For ny trasé for E39 Myrmel-Lunde i Gaular kommune, har Statens Vegvesen planlagt å legge veien i tunnel. De har utarbeidet to alternative tunneltraséer med felles påhogg i sør. Kort tunneltrasé er planlagt 600 meter lang, mens lang trasé blir 1 000 meter. Begge alternativene har sine positive og negative sider. Vi har utfra en geologisk vurdering av fjellkvalitet og skredfare sammenlignet de to tunnelalternativene opp mot hverandre.

Skredfaren har vi vurdert utfra aktsomhetskart som viser at steinsprang og jordskred er de reelle farer for trafikken. Etter feltundersøkelser og simuleringer av steinsprang med programmet RocFall kunne vi avkrefte faren for steinsprang mot vei. Skredfare med reell fare for trafikken er undergraving av løsmasser i nye veiskjæringer. Dette vil kreve sikringsarbeid.

Vurdering av fjellkvalitet i berggrunnen ved nordlige tunnelpåhogg gav utslag i godt fjell med overflateforvitring, i tillegg til tre markante svake soner. Sonene følger foliasjonsplanet til bergmassen med strøk rundt 350 grader og fall 30 grader mot øst. De er plassert utfra blotninger funnet gjennom feltundersøkelser, seismiske undersøkelser og kjerneboring. Berggrunnen generelt i området svarer til sikringsklasse C, middels, mens fjellkvaliteten i de svake sonene svarer til sikringsklasse F-G, ekstremt til eksepsjonelt dårlig vurdert utfra Q-verdimålinger i blotninger.

De ulike traséene har begge sine negative faktorer. Lang trasé må drives gjennom tre svake soner, der den ene svake sonen skjærer tunnelen i et punkt med liten overlaging. Den kan også få problemer med innlekkasje fra elv, i tillegg til løsmasseutglidning i veiskjæringer. Kort trasé vil drives gjennom to svake soner. Den ene svake sonen skjærer kort trasé ved tunnelpåhogg, i tillegg til liten overlaging og overflateforvitring. Vei i dagen vil få lengre høye veiskjæringer enn lang trasé, og dermed lengre strekk med fare for løsmasseutglidning. Tiltak for å føre elv gjennom påhoggsområde må også iverksettes, i tillegg til at grunnere tunneldriving gir større risiko for tørrlegging av brønner i området.

Vår konklusjon er at lang tunneltrasé vil være det beste tunnelalternativet for E39 Myrmel – Lunde.

Innhold

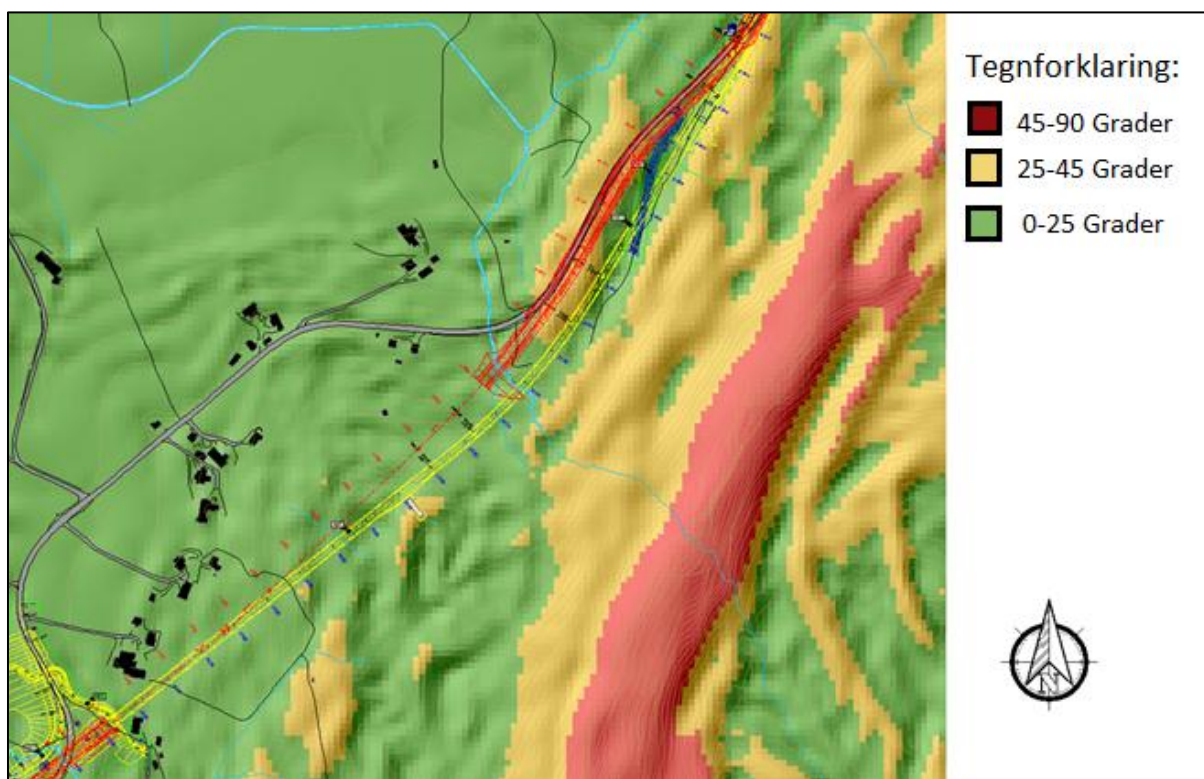
1. Innledning	7
2. Tidligere arbeid	9
2.1 Kort trasé	9
2.2 Lang trasé	9
3. Geologiske forhold	10
3.1 Berggrunn	10
3.2 Løsmasser	12
3.3 Skredfare	14
3.4 Hydrologi og hydrogeologi	16
4. Feltarbeid	18
5. Metoder	20
5.1 Ingeniørgeologisk kartlegging	20
5.3 Kjerneboring	25
5.4 Q-metoden	26
5.5 Steinsprangsimulering	28
5.6 Risikoanalyse	29
5.7 Presentasjonsverktøy	30
5.7.1 3D-visualisering	30
5.7.2 ArcMap	35
6. Resultat	36
6.1 Ingeniørgeologisk kartlegging	36
6.2 Q-metoden	40
6.2.1 Fast fjell	40
6.2.2 Forvitringssoner	42
6.2.3 Konklusjon	43
6.2.4 Refleksjoner over vår bruk av Q-metoden	43
6.3 Svake soner	45
6.3.1 Svak sone 1	45
6.3.2 Svak sone 2	50
6.3.3 Svak sone 3	55
6.3.4 Konklusjon svake soner	57
6.4 Påhoggsområder og veiskjæringer	58
6.4.1 Kort trasé	58

6.4.2 Lang trasé	59
6.5 Skredfarevurdering.....	60
6.5.1 Snøskred	61
6.5.2 Jord og flomskred	63
6.5.3 Isras.....	64
6.5.4 Fjellskred.....	64
6.5.5 Steinsprang.....	66
6.6 Hydrologi og hydrogeologi	70
7. Diskusjon	72
7.1 Kort tunneltrasé	72
7.2 Lang tunneltrasé.....	73
8. Konklusjon	75
Bibliografi	76
Vedlegg.....	79

1. Innledning

I Norge bygges det 20-30 km veitunnel hvert år (Statens Vegvesen, 2015a). Veitunneler forkorter og sikrer veistrekninger over hele landet. E39 langs kysten av Norge er en viktig ferdselsåre, som har mål om å bli fergefri. Dette vil skape en trafikkøkning langs ferdselsåren. Kravet om effektive og skredsikre veistrekninger og å legge trafikken i tunnel for å skjerme bygdene for støy, blir viktigere.

Vi skal se på en veistrekning på Myrmel utenfor Førde hvor nettopp dette er aktuelt. Statens vegvesen har helt tilbake til 1995 jobbet for å legge en veistrekning på 600 meter i tunnel for å forenkle trafikkavviklingen gjennom området. I 2013 ble prosjektet gjenoppstartet, og i perioden fra 2013 til nå har det blitt utarbeidet to alternativ for tunneltraséer med felles påhogg i sør (*Figur 1*). Det korte tunnelalternativet har en lengde på 600 meter, mens det lange tunnelalternativet er 1 000 meter.



Figur 1: Figuren viser kart over Myrmel, Gaular kommune. Eksisterende vei (grå), kort tunneltrasé (rød) og lang tunneltrasé (gul). Kartet viser også terrenghelningen i grader.

Utfordringen med tunnel på strekningen er svake soner med sterkt forvitret fjell, potensiell skredfare mot ny vei i dagen og enkelte hydrologiske hensyn. Dette gjør at vi må vurdere to ulike tunnelpåhogg i forhold til skredfare og fjellkvalitet. Statens vegvesen har allerede gjort flere undersøkelser, både med seismikk, grunnboring og kjerneboring. Dette, sammen med

våre feltundersøkelser og modelleringer, danner grunnlaget for våre vurderinger av tunneltraséene.

Oppgavens problemstilling blir å vurdere to tunnelalternativ mot hverandre ut fra en geologisk vurdering av fjellkvalitet, skredfare og hydrologi.

2. Tidligere arbeid

2.1 Kort trasé

I sammenheng med geologisk rapport for reguleringsplan (Hynne, 2014a) er det utført flere undersøkelser for å kartlegge fjellkvalitet og løsmassemektighet. Det er blitt gjennomført strøk- og fallmålinger for å kartlegge sprekke- og foliasjonsmønster. Q-metoden er brukt på skjæringer nord og sør for tunneltrasé, og på kjerneprøvene tatt opp under kjerneboringene.

Det ble gjennomført refraksjonsseismikk i 2013. Da ble det skutt en lengdeprofil langs traséen og fire tverrprofiler (GeoPhysix AS, 2013).

Grunnboringer har blitt gjennomført både ved påhoggene og langs trasé i mai og juni 2013.

Kjerneboringer ble utført i februar 2014. Det ble gjennomført fire boringer, to ved hvert påhogg, på ca. 20 meter pr. hull.

2.2 Lang trasé

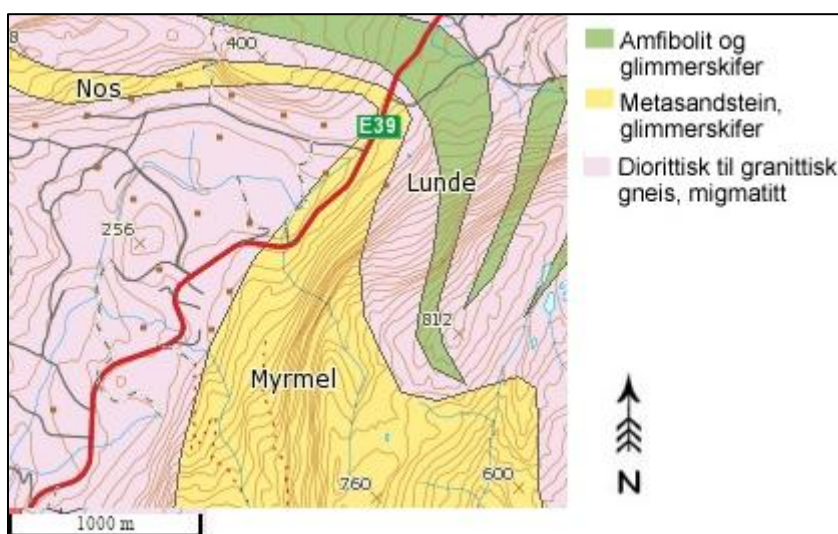
Refraksjonsseismikk ble skutt mellom de to påhoggsalternativene i nord i september 2014.

Det ble skutt en lengdeprofil langs lang trasé og tre tverrprofiler (GeoPhysix AS, 2014).

3. Geologiske forhold

3.1 Berggrunn

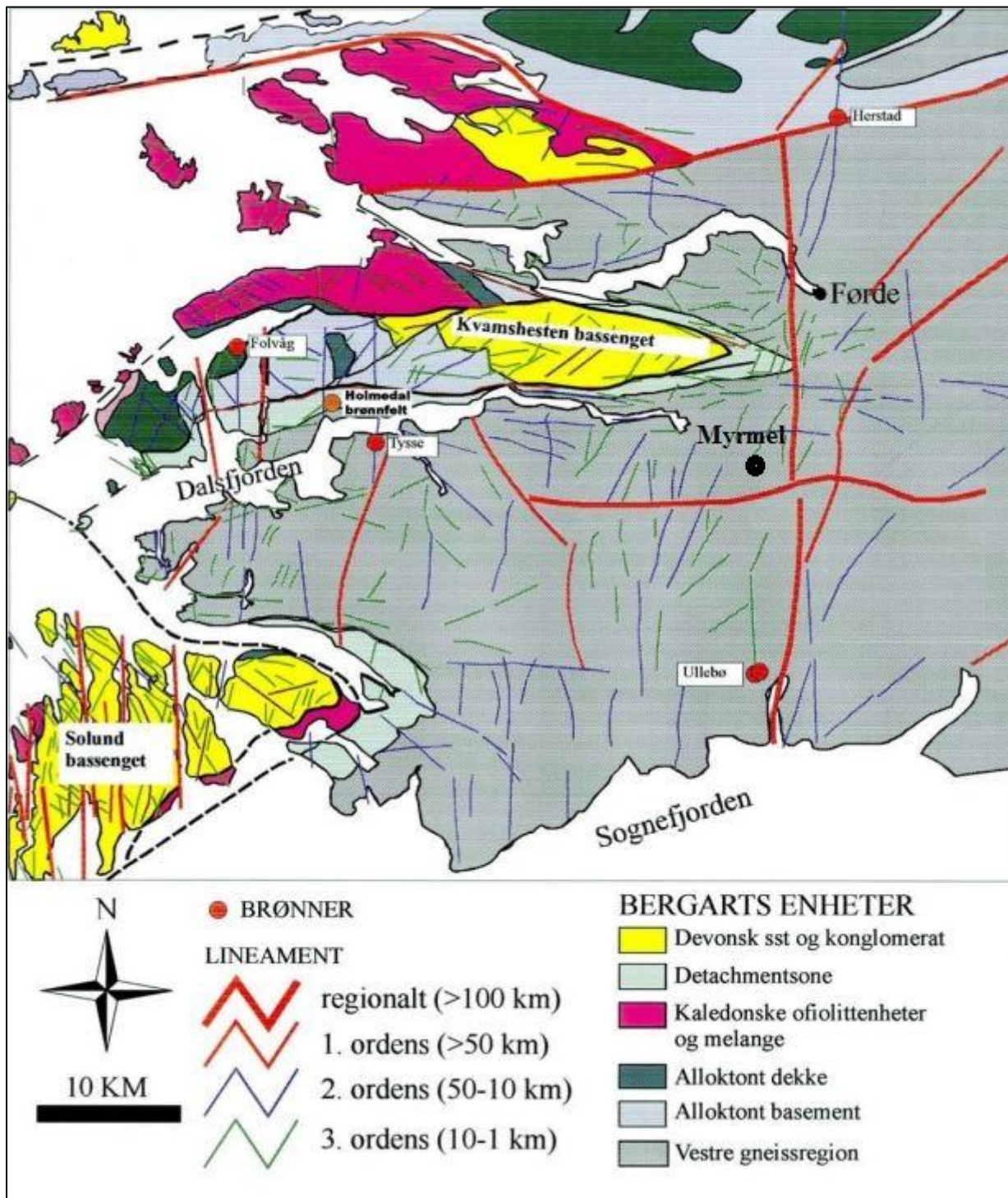
Berggrunnen i området består i hovedsak av prekambrisk gneis, vekselvis diorittisk/granittisk gneis og metasandstein med innslag av glimmerskifer. Dette kommer fram av det berggrunnsgeologiske kartet til NGU, se *figur 2*. Metasandstein og glimmerskifer omfatter området der de to nordlige påhoggsalternativene er planlagt. Bergartene her er blitt omdannet under den kaledonske fjellkjedefoldingen. Her finner vi sterkt forvitrede glimmerrike soner. I sør er det den diorittiske/granittiske gneisen som er dominerende.



Figur 2: Berggrunnsgeologisk kart over Myrmel (NGU, 2015b).

Den horisontale hovedspenningsretning går vest-øst, og ved Hestad nord for Dalsfjorden er hovedspenningen målt til 19,5 MPa (Hansen, 1996). Det er også indikatorer på store bergspenninger som eksfoliasjon og avskalling i området rundt Hestad (Hansen, 1996). Horisontale hovedspenninger vest-øst i en tunnel som går relativt nord-sør kan gi bergspenninger tre ganger hovedspenningen i tunneltak (Myrvang, 2001). Det vil si at bergspenningene i tunneltak kan bli så høye som 58,5 MPa. Dette kan gi problemer med avskalling ved tunneldriving. Vertikale bergspenninger er lave i tunnelområde siden overlaging av bergmasse er liten og avstand til østliggende fjellvegg antas å være for stor til å ha påvirkning.

Lineamenter i regional målestokk i Sunnfjord (Figur 3) viser sprekkeretning øst-vest og nord-sør, der øst-vest regnes som yngste lineament. Myrmel ligger ved tuppen av et 3. ordens lineament, og vi kan derfor trolig ikke forvente noen påvirkning fra de regionale lineamentene her.

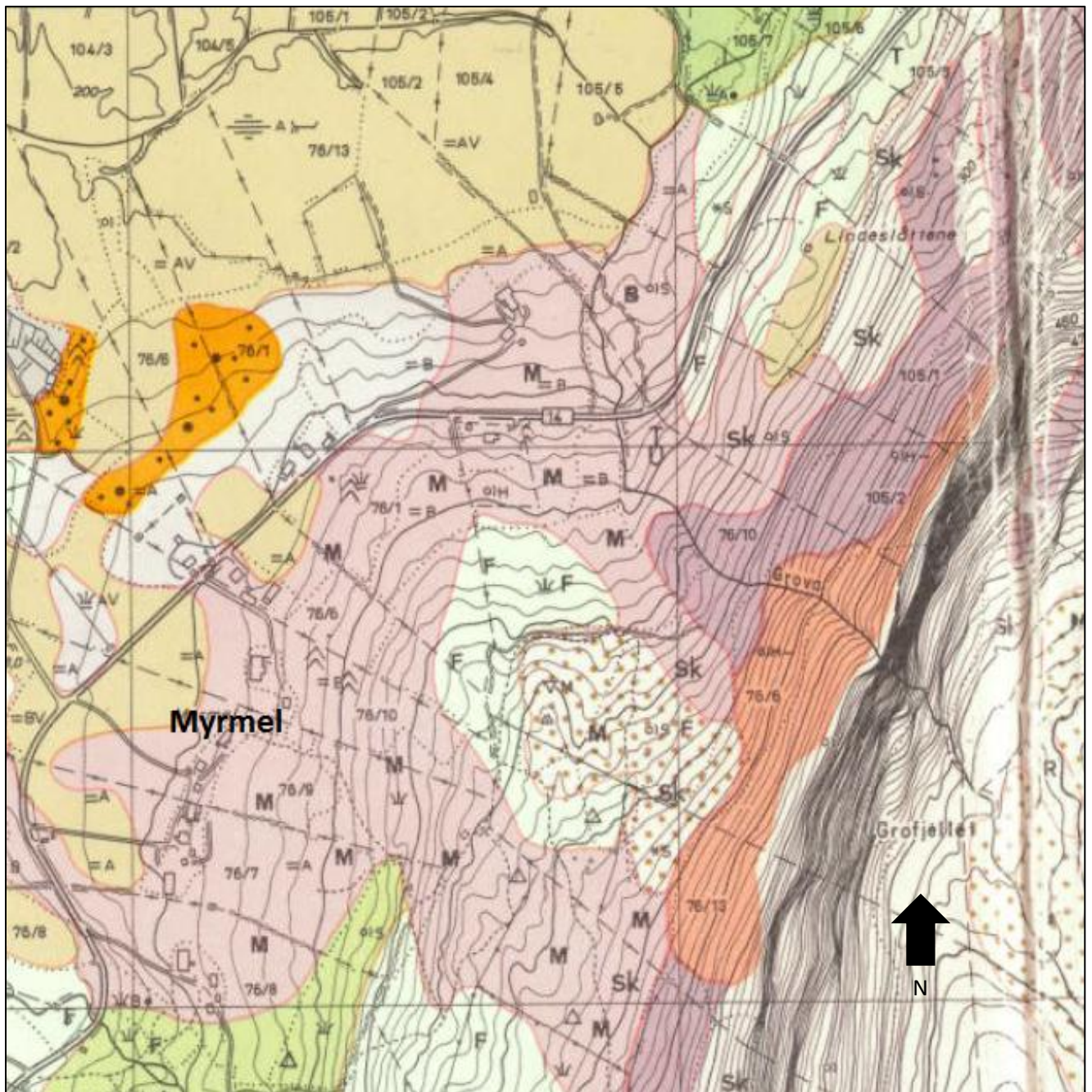


Figur 3: Lineamentskartet viser Myrmel i forhold til lineament i området. Myrmel er sannsynligvis uten påvirkning fra disse. (Braathen, et al., 1999)

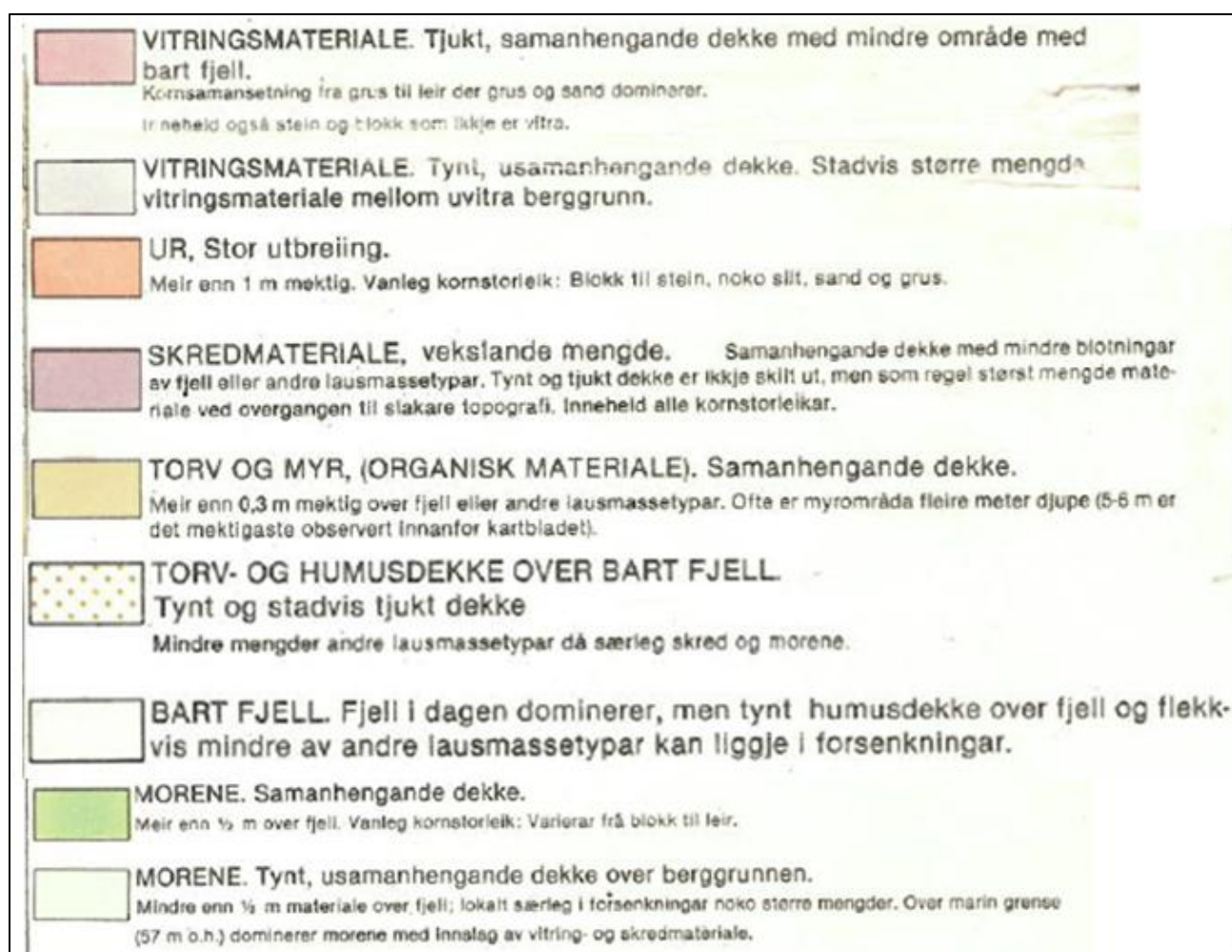
3.2 Løsmasser

Løsmassene består i hovedsak av forvittringsmateriale, varierende mellom tykt, sammenhengende og tynnere, mer usammenhengende materiale (*Figur 4*). Tidligere feltarbeid viser forvitrede løsmasser helt ned til 7 meters dyp. Noen steder er forvittringsmaterialet overlagret av morenemateriale. Dette tyder på at forvitringen er preglasial. (Kleiven, 1975a)

Under fjellveggen med bart fjell ligger ur med stor utbredelse, som går over i skredmateriale med vekslende mengde lengre ned i terrenghelningen.



Figur 4: Kvartærgeologisk kart viser at området er preget av forvittring-, skred- og morenemateriale. (Kleiven, 1975b)



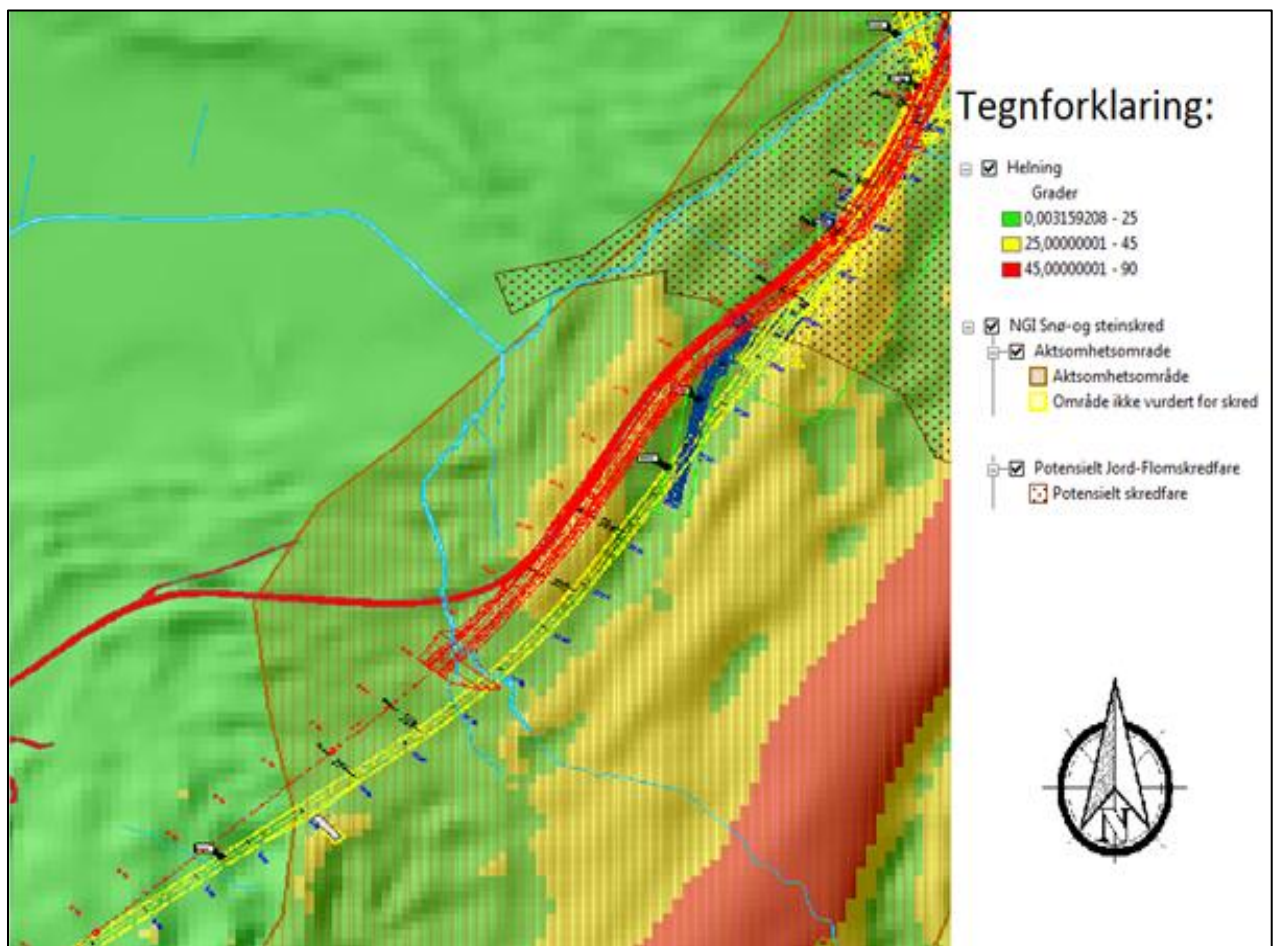
Figur 5: Tegnforklaring til kvartærgeologisk kart (figur 4) (Kleiven, 1975b).

3.3 Skredfare

For reguleringsplan E39 Myrmel-Lunde skal det legges til rette for bygging av to alternative tunneltraséer. Det må utføres en risikovurdering bestående av to faktorer: sannsynlighet for skred mot vei i dagen, og konsekvensen av et skred.

For å finne sannsynligheten for skred mot vei, må vi få en oversikt over skredtyper som utgjør en potensiell fare. Dette vises i aktsomhetskartene til skrednett (NGI, 2009a), et skredkartverktøy laget av NVE og NGI.

I figur 6 ser vi at påhoggsalternativ for kort trasé ligger innenfor NGI sitt aktsomhetsområde for snø- og steinskred. Påhogg for lang trasé ligger innenfor både aktsomhetsområde for snø-, stein-, flom- og jordskred. Aktsomhetskartene viser at det er steinsprang, snøskred, jord- og flomskred som utgjør potensielle skredfarer.



Figur 6: Aktsomhetskart for snø- og steinskred (NGI, 2009b) og for jord- og flomskred (NGU, 2014) ved tunnelpåhogg i nord. Lang tunneltrasé merket gult, kort tunneltrasé merket rødt (Statens Vegvesen, 2015b).

Siden områder i reguleringsplanen ligger innenfor aktsomhetssoner i Skrednett, må det bli undersøkt om skredfare er reell gjennom en skredfarevurdering av planområdet. En skredfarevurdering må ta for seg alle skredtyper (NVE, 2011):

- Jordskred
- Snøskred
- Flomskred
- Steinsprang
- Isras
- Fjellskred

Dette er utført i kapittel 6.5.

Når vi vurderer skredfare mot vei skal det vurderes om skred har mulighet til å stenge hele vegbanen eller forårsake alvorlige ulykker. Potensielle jordskred, flomskred og snøskred skal vurderes dersom skredmassen kan overskride 10 m^3 . Isras og steinsprang kan forårsake alvorlige ulykker selv ved mindre masse. (Statens Vegvesen, 2014)

Risikovurderingen av skred mot vei må vurderes utfra sannsynligheten for skred og konsekvensen av et skred, som vises i en risikomatrise. Risikomatrisen bygger på akseptkriterier Statens Vegvesen har satt for akseptabel risiko. Dette står nærmere beskrevet i metodedelen i kapittel 5.6.

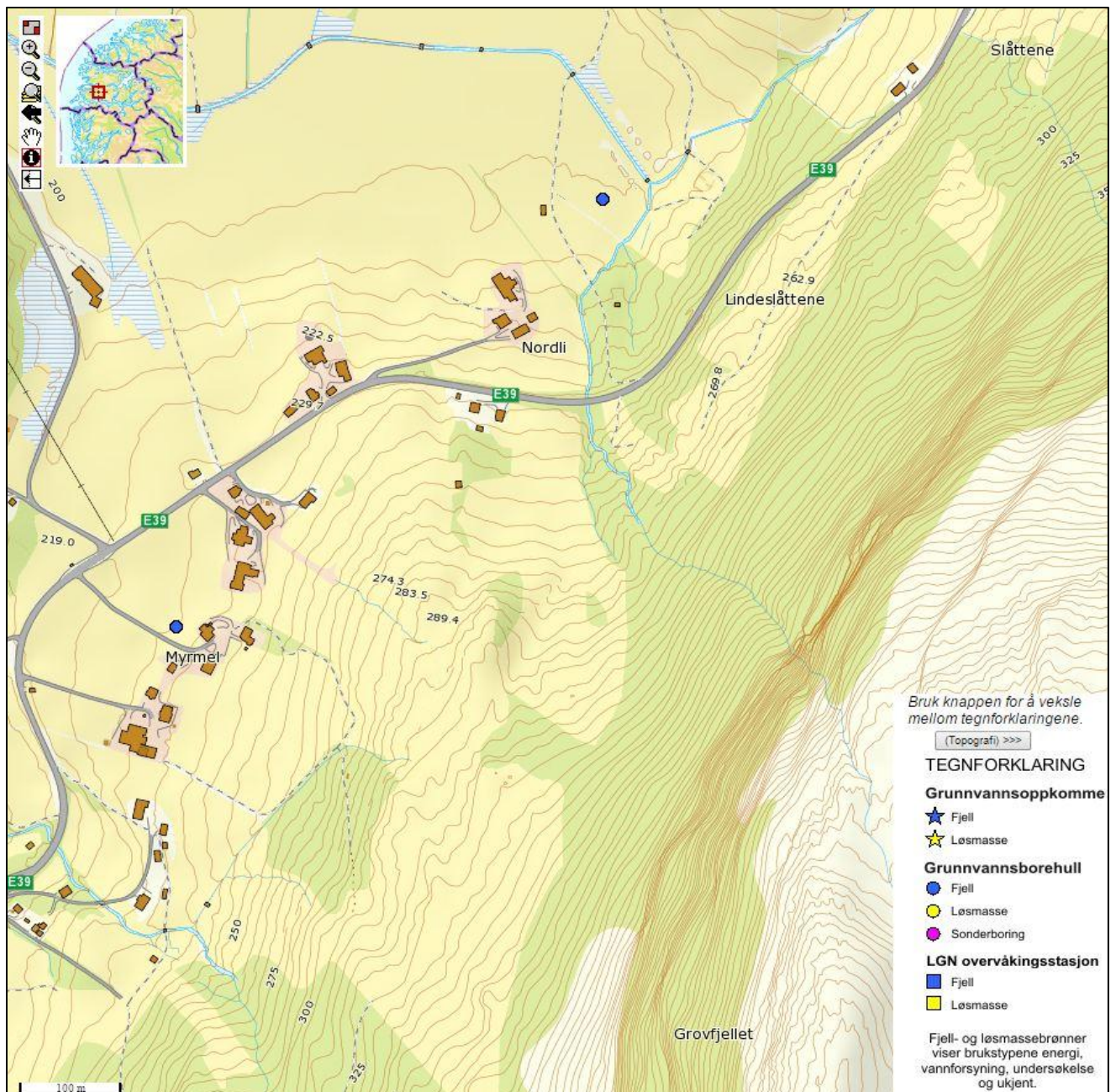
3.4 Hydrologi og hydrogeologi

Gjennom området renner en elv ved tunnelpåhogget til kort tunneltrasé (*Figur 6*). Utfra feltundersøkelser gjort for å vurdere vannstand i elven, og hvilke konsekvenser dette kan ha for tunneldrivingen, har vi vurdert denne elven i resultatdelen kapittel 6.6. Det er ellers lite eller ingen myrområder eller vann på Myrmel.

Det er to typer akvifærer i området. *Fjellakvifærer* leder vann i sprekker gjennom berggrunnen. Det er gjennom denne typen akvifér at borebrønner i fjell blir forsynt med vann. Den andre typen akvifér er *løsmasseakvifér*. Her dreneres vann gjennom løsmasser; vannet lagres i løsmassene og forsyner løsmassebrønnene med vann.

Når man bygger tunnel er det lett for at transportveiene for vann i fjellmassen endres på grunn av sprengningsarbeid. Det kan åpne seg nye sprekker som endrer strømningsveiene, eller gamle sprekker kan gjentettes. Dette kan føre til at fjellbrønnene får mindre vanntilførsel enn tidligere. Når sprekker over tunneltak åpnes, vil tunnelen fungere som en stor horisontal fjellbrønn som kan drenere vann fra den overliggende løsmasseakviféren. Dette kan føre til tørrlagte løsmassebrønner.

Det er derfor viktig å få en oversikt over eventuelle brønner som kan bli påvirket av tunneldrivingen. De fleste fjellbrønner i Norge skal være registrert i den nasjonale grunnvannsdatabasen Granada som vist i *figur 7*.



Figur 7: Kart hentet fra karttjenesten GRANADA med inntegnede brønner som er registrert i Nasjonal grunnvannsdatabase. (NGU, 2005a).

Løsmassebrønner er ofte brukt i forbindelse med gårdsdrift og er ikke like ofte registrert i Granada. For å oppnå en fullstendig kartlegging av brønnene har vi i vårt feltarbeid registrert løsmassebrønner med GPS. GPS-punktene har vi så lagt inn i ArcGIS for å lage et oversiktskart der vi ser brønnenes plassering i forhold til tunneltraséene, vist i resultatdelen under delkapittelet hydrogeologi.

4. Feltarbeid

Resultatdelen vår er bygget på feltarbeid og innsamling av data rundt nordlige påhogg til tunneltraséene ved E39 Myrmel-Lunde. Vi har reist fire ganger til Myrmel for å gjennomføre feltarbeid. To turer i oktober 2014, én gang i desember 2014 og én gang i mars 2015.

Spredningen i årstider på feltarbeidet har gitt oss god oversikt over lokale klimautfordringer som hydrologi og snømengder.

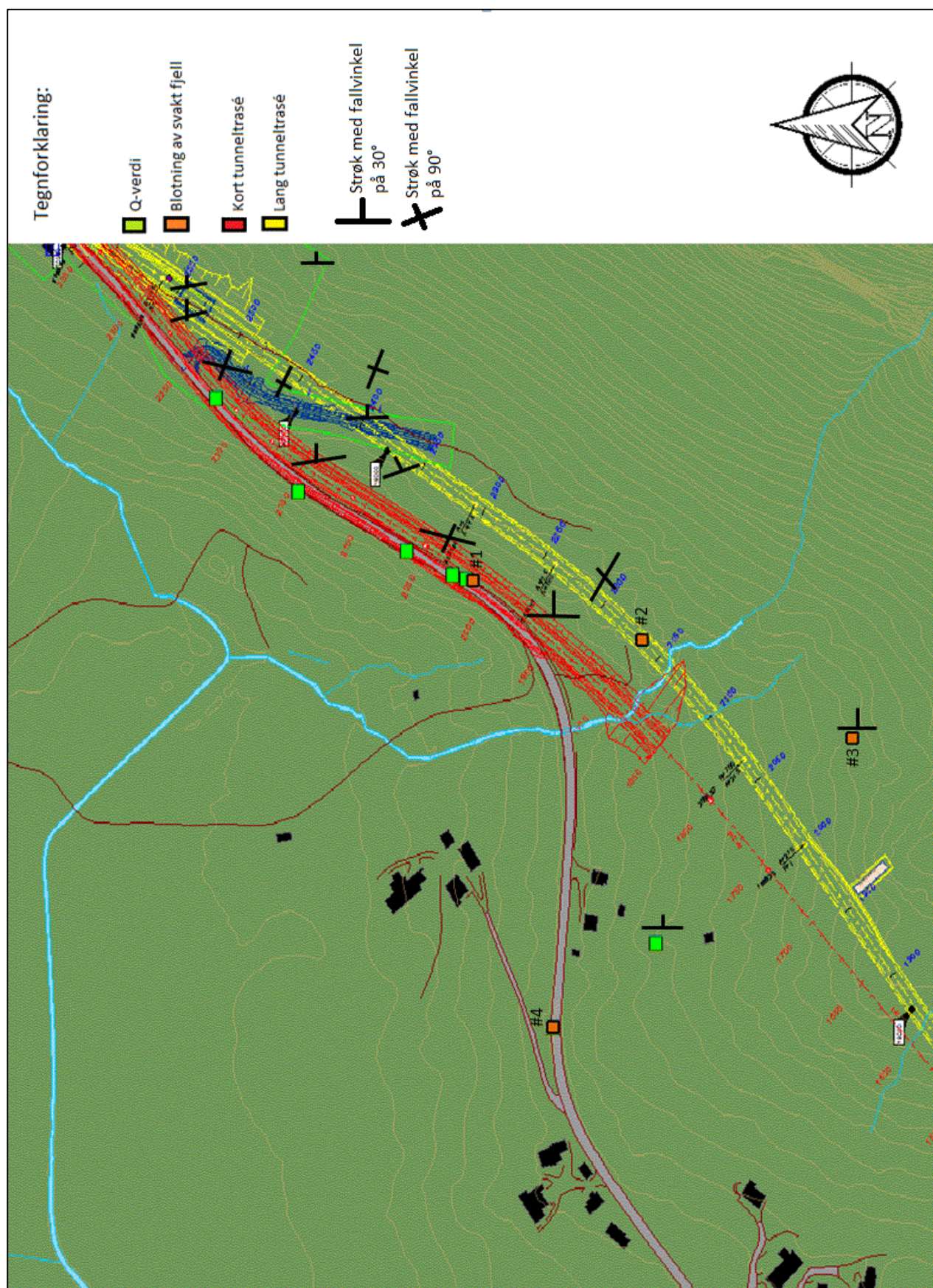
Strøk- og fallmålinger var det første feltarbeidet vi utførte. Vi gjennomførte totalt 56 målinger på veiskjæringer og blotninger i terrenget. Målingene ble utført fra nordlig påhogg for lang tunneltrasé til nordlig påhogg for kort tunneltrasé. Det ble utført strøk- og fallmålinger på alle synlige blotninger for å kartlegge sprekkesettene.

Under kartlegging av svake soner har vi funnet fire blotninger i terrenget, merket oransje i *figur 8*. Sonene viser forvitring. Dette forvitringsmaterialet er glimmerrikt, med lag av kvarts som har motstått forvitring i større grad.

Q-verdier, merket grønt i *figur 8*, er anslått utfra analyser av seks blotninger. Langs veiskjæringer på nåværende vei mellom de to påhoggsalternativene ble det beregnet fire Q-verdier av fast fjell, mens én ble målt i forvitringssonen ved blotning 1 (*Figur 8*). En blotning ble analysert lengre sør, i fast overliggende fjell til mulig «svak sone 3».

Skredfarevurdering ble en stor del av feltarbeidet. Vi vurderte helning og mengde av løsmasser over eventuelle veiskjæringer, og observerte utstrekning av blokker under fjellveggen i områder over tunnelpåhoggene. Her ble det vurdert om løsmassene var i samsvar med løsmassekartet, som grunnlag for senere steinsprangsimuleringer. Vi var også i felt for å sjekke snømengde i mars, for å undersøke muligheten for snøskred i området.

Hydrologiske og hydrogeologiske forhold ble også vurdert under feltarbeidet. Vi vurderte vannføring i elv ved påhogg for kort trasé med tanke på komplikasjoner for driving av tunnel. Vi kartfestet fem løsmassebrønner med GPS for å kunne si noe om påvirkningsgraden en eventuell tunnel kan ha for vannstrømningen til brønnene.



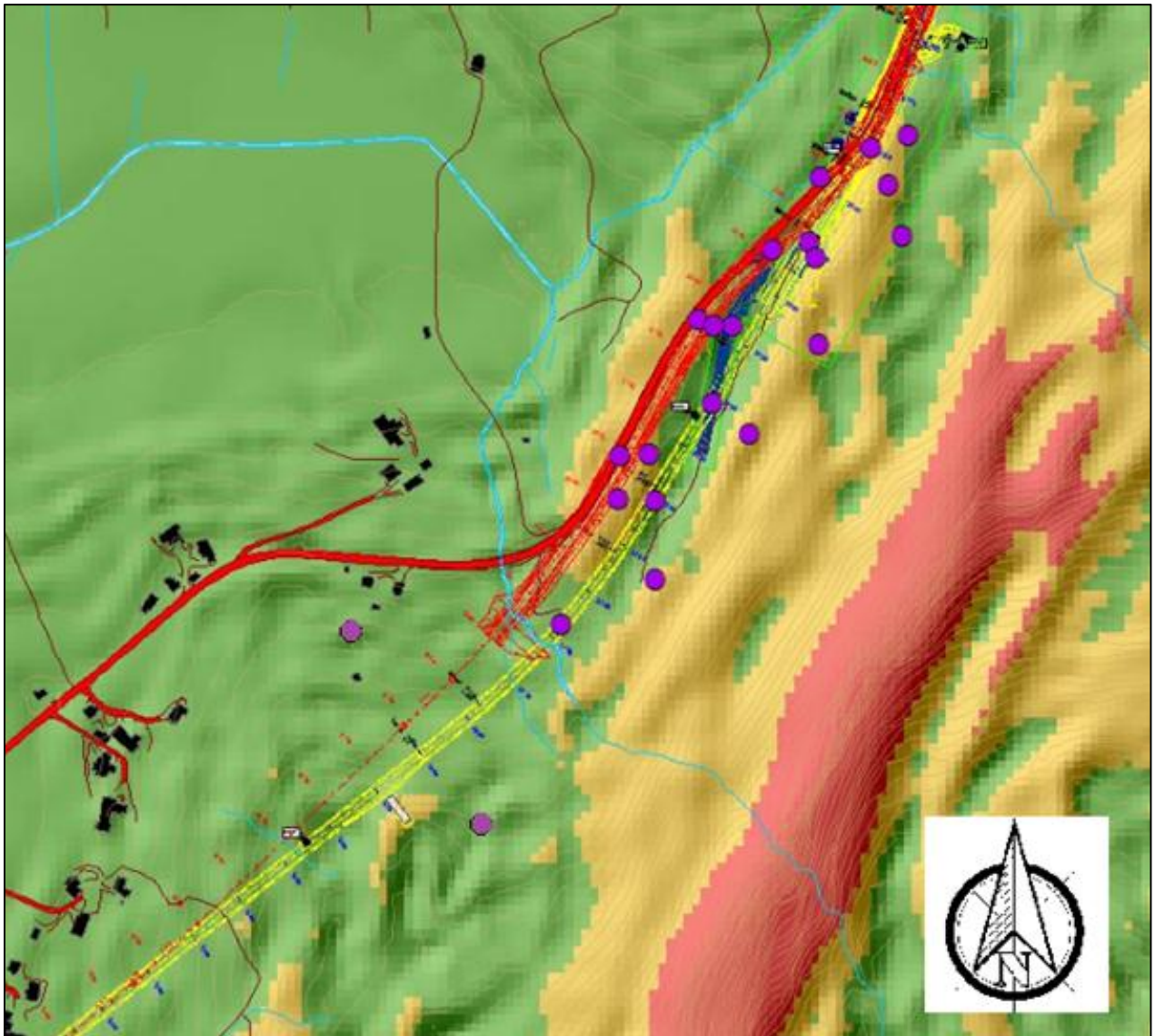
Figur 8: Viser hvor vi har gjennomført Q-verdimålinger og funnet blotninger med forvitring. Noen strøk- og fallmålinger er markert.

5. Metoder

I denne delen skal vi beskrive egne feltmetoder og dataanalyser, i tillegg til å beskrive utførelsen og hvordan man tolker grunnundersøkelser gjennomført av Statens Vegvesen.

5.1 Ingeniørgeologisk kartlegging

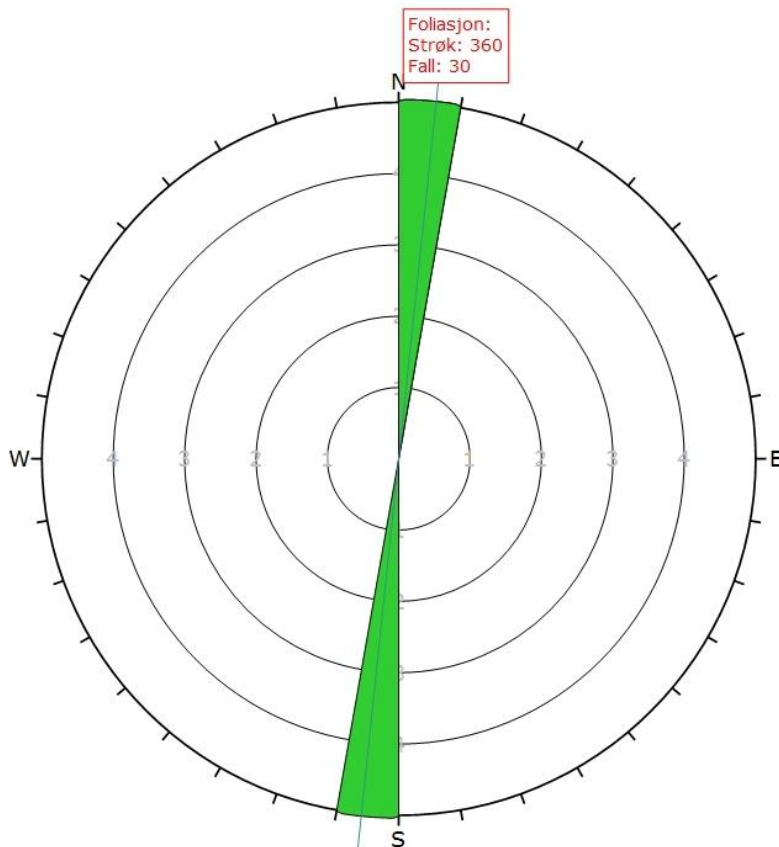
Kartlegging av sprekker og foliasjonsplan i berggrunnen gjøres ved bruk av strøk- og fallmålinger. Målingene utførte vi på flest mulige blotninger i området vi kartla, vist som lilla prikker i oversiktskartet i *figur 9*.



Figur 9: Lilla punkter på kartet viser blotninger der strøk- og fall-målinger er blitt utført. Lang- og kort tunneltrasé med vei i dagen er stiplet henholdsvis gult og rødt.

Ved hjelp av et kompass med helningsmåler, kan man lese av orientering og helning til sprekker og foliasjonsplan man ser i felt. Alle målinger som blir tatt, legges inn i programmet Dips (Rocscience inc., 2015c). Dips blir brukt for å tolke antall sprekkesett i bergmassen, og strøk og fall til disse.

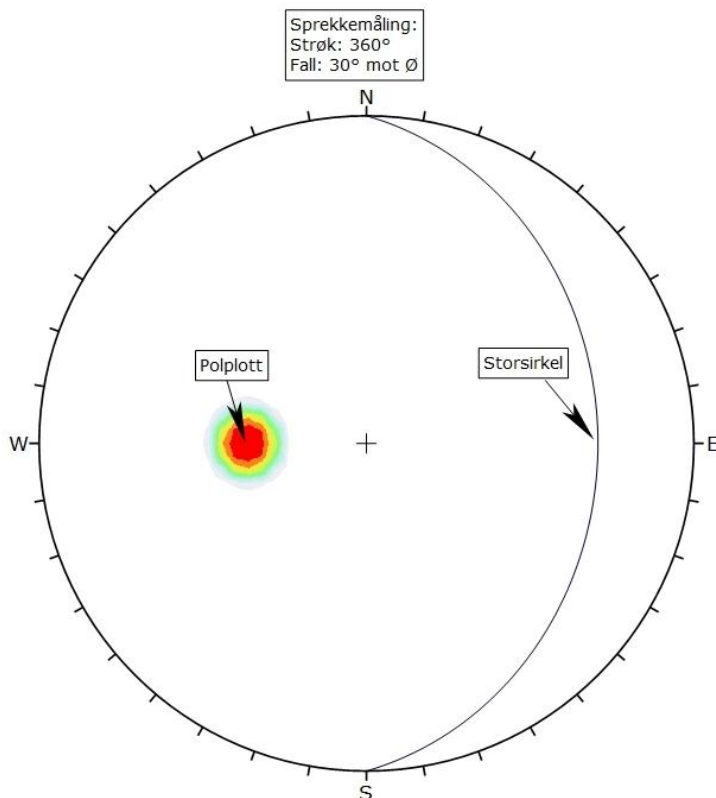
Rosediagram viser tydelig strøket til sprekkesettene (*Figur 10*). I et rosedigram blir strøkmålingene lagt inn som søyler som reiser seg fra origo i en sirkel. Retningen til en søyle er strøket til en sprekkemåling. Søylenes lengde blir avgjort av antallet målinger som har samme strøk. Dette gjør at de mest markante søylene i rosedigrammet utgjør strøket til sprekkesettene i bergmassen.



Figur 10: Rosediagram eksempel med et sprekkesett som har strøk 360° og fall 30°.

Stereonett blir brukt for å gi en 3D-forståelse av utstrekningen til observerte sprekker i berggrunnen (*Figur 11*). I et stereonett blir alle målinger lagt inn som storsirkler i en tredimensjonal kule. Buen av sirkelen i *figur 11* følger kuleskallet til den tredimensjonale kulen på undersiden. Skjæringspunkt mellom buen og største horisontale plan vist som et kompass, viser strøket til målingen. Buens avstand til ytterpunkt av det horisontale planet viser fallvinkelen ved at avstand til origo er delt opp i 90° etter Schmidt-projeksjon, med 0° i ytterpunkt. I et stereonett vil dermed en stor bue vise mindre fall enn en mindre bue. Polplottet til buen er vist med farger. Et polplott markerer punktet på kulens underside som står normalt på planet sirkelen danner i den tredimensjonale kulen. Polplottet viser fallvinkel til sirkelen, med fall på 0° ved pol i origo og 90° ved pol i ytterpunkt. Når stereonettet innehar flere målinger, altså flere buer, vil polplott til buene vises som områder, der området med sterkest farge er området som innehar flest polplott. På den måten vil man kunne skille sprekkesett etter hvilken fallvinkel som er gjentakende. (Nilsen, 2005)

Figur 11 viser en måling der buen skjærer det horisontale planet ved 360 grader. Avstanden fra buen til ytterpunktet av det horisontale planet er en tredjedel av avstanden til origo. Det betyr at fallvinkelen er 30 grader.



Figur 11: Stereonett-eksempel som viser en strøk- og fallmåling. Buen skjærer det horisontale planet ved 360° , og ligger 30° fra ytterpunktet på akse mellom ytterpunktet og origo.

5.2 Refraksjonsseismikk

Det er brukt refraksjonsseismikk for å kartlegge mektigheten til løsmasser og fjellkvalitet ved planlagt tunneltrasé på Myrmel. Undersøkelsene er utført av GeoPhysix AS på oppdrag fra Statens Vegvesen.

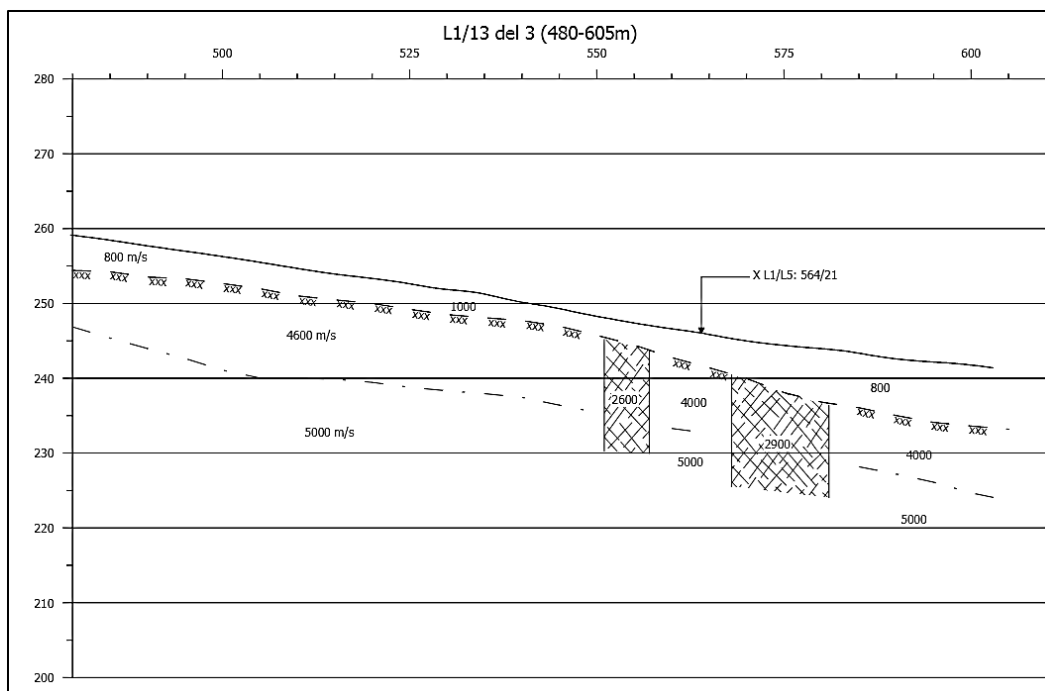
Metoden brukes til å bestemme lagtykkelser. Dette gjøres ved at en lydbølge blir sendt ned i bakken og reflekteres når den treffer et lag med en ny seismisk hastighet. Det er P-bølgen, som også har evne til å forplante seg i væske, som er registrert. Ved å måle tiden det tar for lydbølgen å nå geofonen kan man finne lagenes seismiske hastigheter og beregne tykkelsen og dybden til laget. Bergarter og løsmasser har ulike seismiske hastigheter. Dermed kan vi enkelt finne ut hvilke løsmasser eller bergarter vi har med å gjøre. Seismiske undersøkelser kan også avsløre svake soner og dyp til fjell.

Ettersom de svake sonene i det aktuelle området følger hellende lag kan seismikken av disse bli jevnet ut ved at flere lag, både svake og sterke, får en gjennomsnittshastighet. Det er gjennomsnittshastigheten mellom to geofoner som gir oss hastighetene til lagene. Hvis bare den ene halvdel av en svak sone befinner seg i en måling mellom to geofoner, vil hastigheten av den svake sone isolert sett bli feil. De svake sonene kan dermed framstå med noe høyere hastighet enn hva de i realiteten har (Gjelsnes, 2013). Når vi tolker seismikken i vårt arbeid med å kartlegge disse sonene, tar vi hensyn til hvordan lagene heller i terrenget og andre feilkilder som kan gi seismikkprofil som ikke stemmer med faktiske resultat fra andre sikre kilder som for eksempel kjerneboring..

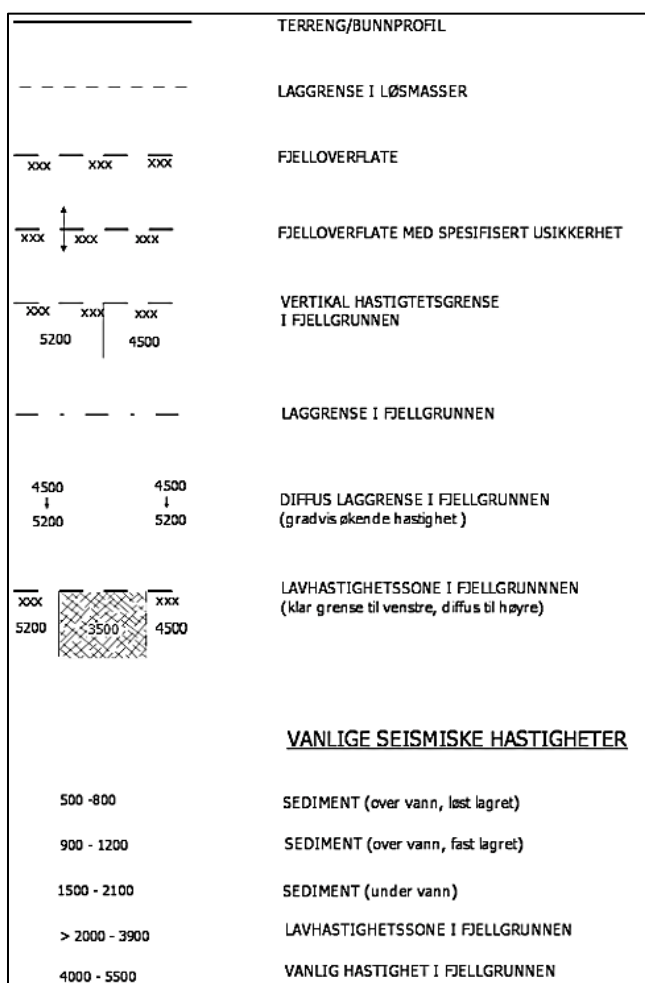
Usikkerheten i seismikkmålingene er økende med dypet. Ned til 10 meters dyp regner man et standardavvik på én meter. Deretter ligger standardavviket på 10 % av beregnet dyp. (NGU, 2015a).

Figur 12 viser et seismisk profil fra Geophysix. I denne figuren ser vi et diagram med en x- og y-akse. Y-aksen viser høyden i meter over havet, og x-aksen viser lengde i meter. I *figur 13* ser vi tegnforklaring for seismikkdiagram, og hvilke grenseverdier som er satt for seismikkhastighetene.

Det er de skraverte sonene i *figur 12* som gir oss verdifull informasjon. Ved å korrelere dybden, posisjonen og utstrekningen av disse med strøk og fall målinger av blotninger i felt, får vi et godt grunnlag for å lage en 3D-visualisering av sonenes utbredelse.



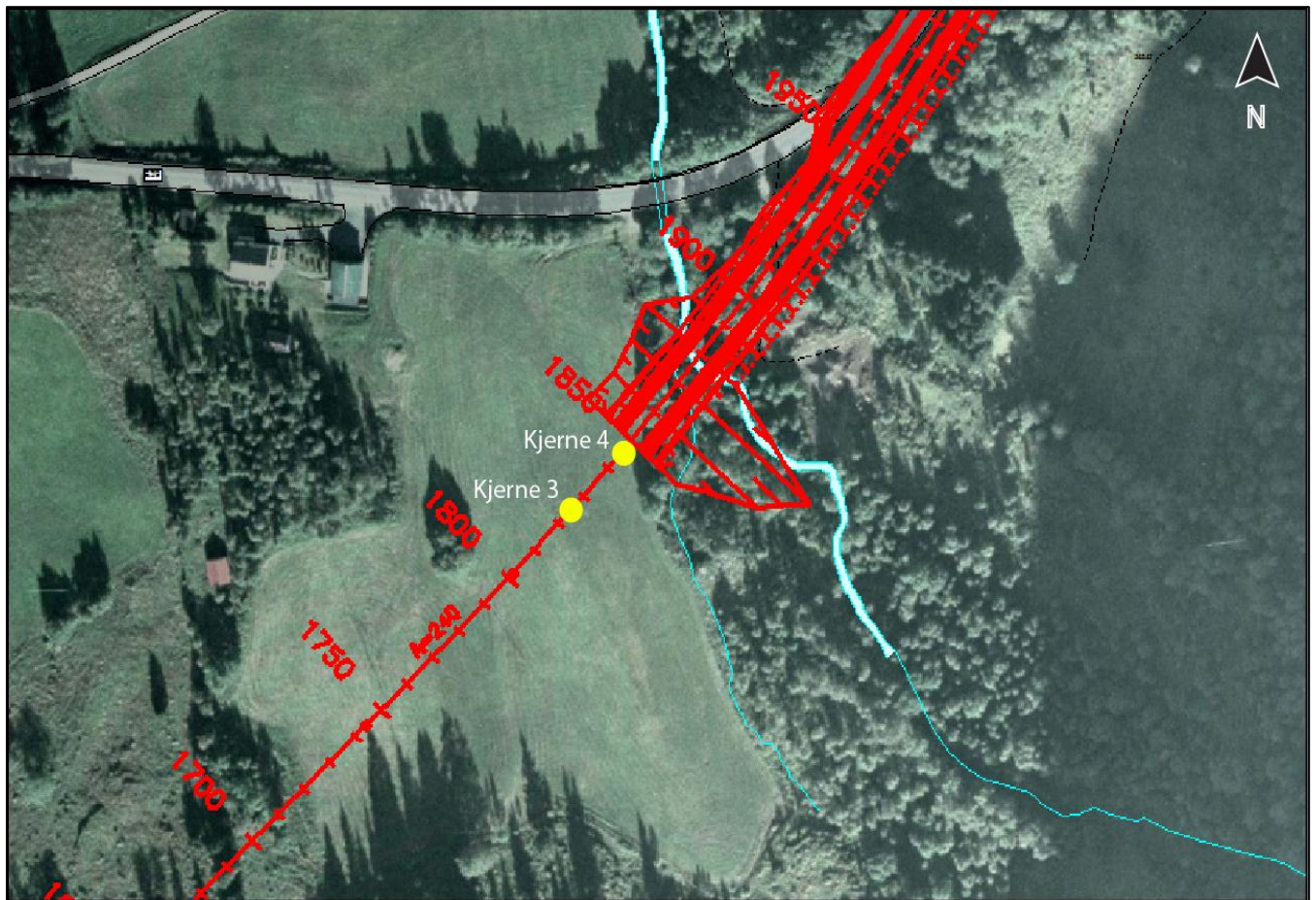
Figur 12: Viser de seismiske hastighetene ved refraksjonsseismikkprofil L1/13 del 3 (GeoPhysix AS, 2013).



Figur 13: Figurforklaring for refraksjonsseismiske profil (GeoPhysix AS, 2013).

5.3 Kjerneboring

Det er gjennomført fire kjerneboringer på Myrmel. To er i nærheten av påhogg i sør og to like ved påhogg nord (Figur 14). Alle er langs kort tunneltrasé.



Figur 14: Plasseringene av kjerneboringene (gult) like ved påhogg nord for kort tunneltrasé (Hynne, 2014b).

Kjerneboringen borer opp en søyle med bergmasse. Det benyttes en diamantbesatt rørformet krone, denne blir vannavkjølt under boring. Et kjerneør omslutter kjerneprøven under boring, og blir tatt ut ved hjelp av kjernefangeutstyr.

Informasjonen man får utfra kjerneboringen er følgende:

- Hvor mye boret synker (cm/minutt)
- Rotasjonshastigheten (omdreininger/minutt)
- Trykket som brukes på boret (kp/cm²)
- Vanntap (liter/minutt)

Kjerneprøvene plasseres i egne spesialkasser, for så å logges. Ved kjernelogging blir det analysert:

- Bergartstype
- Bergartsgrenser
- Sprekkefrekvens (naturlige brudd/meter)
- Q-verdi
- RQD (% kjernestykker > 10 cm)
- Problemer og/eller spesielle observasjoner

(Statens Vegvesen, 1997)

Ved kjerneboring kan man miste deler av kjernene som tas opp. Dette skjer dersom man møter svake soner med forvitret materiale. Materialet kan da bli vasket bort før kjernene tas opp. (Statens Vegvesen, 1997)

I vårt arbeid med kjerneboringene har vi forenklet fremstillingen av kjerneloggene. Vi har klassifisert lengre seksjoner med dårlig fjellkvalitet i kjerneloggen som en mulig sammenhengende sone. Dette har vi brukt til å forbedre vår plassering av de svake sonene ved 3D-visualisering.

5.4 Q-metoden

For å få en oversikt over fjellkvalitet i en bergmasse er Q-metoden et godt verktøy. Q-verdien gir en indikasjon på hvor stabil den undersøkte bergmassen er, og hvilke sikringstiltak som bør gjennomføres. Q-systemet ble utviklet på 1970-tallet av NGI. Metoden er videreutviklet, men måten man beregner Q-verdien på er nesten ikke forandret. (NGI, 2013)

Q-metoden brukes vanligvis i tunnel og ved blotninger av berg i dagen, men også ved logging av borekjerner. Systemet tar ikke hensyn til sprekkens orientering i forhold til bergrommet eller bergartenes fasthet. Q-systemet vil derfor ikke gi en sann verdi, men brukes som dokumentasjon av fjellkvaliteten og en retningslinje for sikringstiltak som bør utføres. (NGI, 2013)

Våre Q-målinger er utført på veiskjæringer og blotninger i terrenget.

Formel 1: Formel for å beregne Q-verdi (NGI, 2013)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Q-verdien beregnes ut fra seks parametere (*Formel 1*):

RQD = Oppsprekkingsfaktor (Rock Quality Designation)

J_n = Tall som avhenger av antall sprekkesett

J_r = Sprekkeruhetstall

J_a = Tall for sprekkefylling

J_w = Sprekkevannstall

SRF = Spenningsfaktor (Stress Reduction Factor)

(NGI, 2013)

Oppsprekkingsgrad (RQD/J_n) representerer den relative blokkstørrelsen til bergmassen som undersøkes. Sprekkes orientering og avstand vil derfor avgjøre blokkstørrelsen. Lav RQD og høy J_n vil derfor skape ustabile forhold. (NGI, 2013)

Friksjon langs sprekker er avgjørende for bergmassens stabilitet. Friksjonsforhold (J_r/J_a) avgjøres av sprekkes ruhet, forvittringsgrad og sprekkefyll. Sprekkefyll vil ofte gi mindre friksjon og lavere stabilitet. Det er ideelt med rye sprekker uten sprekkeinnfyllinger for å oppnå høy friksjon. Forvitring av sprekkeflaten og sprekkefyll av leire er eksempler på forhold med lav friksjon. (NGI, 2013)

Spenningsforholdene bestemmes av de to parameterne sprekkevannstall og spenningsfaktor (J_w/SRF). Vannmengden i sprekker og tektoniske forhold er viktig for stabiliteten. Vann i sprekker kan vaske bort eller bløte opp sprekkefyll slik at friksjonen langs sprekkeene minker. Normalspenningen på sprekkeflatene vil kunne minke ved økende vanntrykk. SRF beskriver de aktive spenningene og kan beregnes ut i fra forholdet mellom bergartens trykkfasthet (enaksial) og største hovedspenning. (NGI, 2013)

Ved bruk av Q-metoden på blotninger og kjerneprøver kan sprekkefyll være vasket bort og vanninnholdet i sprekkeene være endret. Spenningsforholdene er heller ikke målbare ved slike

undersøkelser, men man vil da bruke de generelle spenningene for området. Det er derfor viktig å bruke flere undersøkelsesmetoder før sikringsomfanget bestemmes. (NGI, 2013)

Q-verdien kan dokumentere alt fra eksepsjonelt dårlig til eksepsjonelt god fjellkvalitet. Høye verdier er ideelt ettersom det indikerer stabilt fjell ($Q=10-100$). Lave verdier betyr ustabile forhold ($Q<1$).

Q-systemet er empirisk og gir verdier basert på observasjoner. Menneskelig svikt eller feiltolking kan derfor gi feil Q-verdi.

5.5 Steinsprangsimulering

Til å beregne utløpsdistanser for steinsprang, brukes simuleringsprogrammet RocFall (Rocscience inc., 2015a). RocFall gir en simulering av et steinsprang langs et terrengprofil. Profilene der vi har utført simuleringer har vi laget i ArcMap. For å lage terrengprofiler i ArcMap må man først konvertere digitale høydekurver på kartet til rasterdata. Vi har brukt digitale høydekurver med ekvidistanse 5 meter til å generere rasterkartet. Videre brukes et verktøy (Generate steepest path) der en linje på kartet viser bratteste vei fra et gitt punkt til der terrenget flater ut. Verktøyet viser også linjen i profil, og lar oss konvertere x- og y-verdiene av profilet til Excel. Excel-filen kan så brukes i Rocfall for å simulere et steinsprang.

Underlagets egenskaper er avgjørende for utløpsdistansen. I RocFall deles profilet inn i seksjoner avhengig av underlagets egenskaper. Det blir derfor lagt inn data for egenskapene til løsmassene/berg for hver seksjon langs skredbanene. RocFall bruker tre hovedparametre til å forklare skredbevegelsen på ulike underlag. "Restitution" (R) forklarer forholdet mellom hastigheten en blokk har før og etter støtet mot underlaget. Underlagets dempningsseffekt har derfor stor betydning. R deles inn i normal retning (R_n) og tangentiell retning (R_t). Underlagets friksjon kan være viktig dersom skredet har glidende bevegelse. Det legges derfor inn friksjonsvinkler (F) i alle seksjonene. (Bertelsen, 2009)

Løsneområde defineres etter at egenskapene for alle seksjonene langs skredbanen er bestemt. Man må så bestemme antall skredblokker og blokkenes masse. Utgangshastighetene for vertikal-, horisontal- og rotasjonshastigheter legges også inn her. Det samme gjelder for standardavvik og fordeling for hver av størrelsene. (Rocscience, Inc., 2015b)

RocFall har egne verdier for R_n , R_t og F for ulike underlag. Vi har valgt å opprette nye underlag med definerte verdier ut fra norske forhold (Bertelsen, 2009; Henriksen, 2015).

5.6 Risikoanalyse

Det finnes to ulike utgangspunkt for en risikoanalyse av veitrasé. Akseptkriteriene i Tek 10 blir brukt hvis trafikken står stille i området, som ved rasteplasser, bussholdeplass, kolonnekø osv. Tek 10 er Byggeteknisk forskrift som blant annet omhandler naturfare ved boligbygging.

Det andre utgangspunktet for en risikoanalyse er om det ikke skal stå stille trafikk i området. Da brukes akseptkriteriene for skred på vei. (Statens Vegvesen, 2014)

Risiko er produktet av sannsynlighet for skred og konsekvens av dette. Risiko fremstilles i en risikomatrise som vist i figur 15.

Årlig nominell skredsannsynlighet pr. enhetsstrekning	I $1/2 \geq F > 1/5$						
	II $1/5 \geq F > 1/10$						
	III $1/10 \geq F > 1/20$						
	IV $1/20 \geq F > 1/50$						
	V $1/50 \geq F > 1/100$						
	VI $1/100 \geq F > 1/1000$						
	VII $1/1000 \geq F$						
Trafikkmengde (ÅDT)		A <200	B 200 - <500	C 500 - <1500	D 1500 - <4000	E 4000 - <8000	F ≥8000
		<div> <div></div> Akseptabel strekningsrisiko <div></div> Tolererbar strekningsrisiko. Aksept avhenger av skredintensitet og kost-nytte-analyse. Akseptnivå besluttet av regionledelsen (vegeier hos fylkesk.). <div></div> Uakseptabel strekningsrisiko </div>					

Figur 15: Risikomatrise: Beskriver skredsannsynlighet pr. enhetsstrekning langs y-aksen og årlig døgntrafikk langs x-aksen. (Statens Vegvesen, 2014)

Sannsynlighet regnes utfra sjansen for en uønsket hendelse og hvor ofte hendelsen vil inntreffe. Sjansen for en uønsket hendelse blir vurdert utfra skredfarevurderinger. Eventuelle faresoner langs vei i dagen blir delt i enhetsstrekninger på 1 km.

Konsekvens er mulig utfall av en uønsket handling. I dette tilfellet er et mulig utfall at en bil blir truffet av skred. Konsekvens kalkuleres utfra hvor ofte det passerer en bil forbi det skredutsatte området. Dette regnes i årlig døgntrafikk, som er antall biler pr år/antall dager i året (Statens Vegvesen, 2014). Denne verdien skal fremskrives 20 år frem i tid med tanke på økt trafikkmengde.

For at en reguleringsplan skal bli godkjent, må alle enhetsstrekninger langs vei i dagen ha en akseptabel strekningsrisiko (grønn) eller tolererbar strekningsrisiko (gul). Ved tolererbar strekningsrisiko må aksept hentes hos regionledelsen for å få byggetillatelse (Statens Vegvesen, 2014). Har enhetsstrekninger i reguleringsplanen en uakseptabel strekningsrisiko, må tiltak iverksettes for å minske sannsynligheten for skred.

5.7 Presentasjonsverktøy

5.7.1 3D-visualisering

En del av problemstillingen i vår bacheloroppgave er å vurdere de to tunneltraséene opp mot hverandre ut i fra fjellkvalitet. Det er dermed interessant å finne utbredelsen og posisjonen til de svake soner som kan treffe tunneltraséen. I arbeidet med å plassere de svake sonene i en 3D-visualisering har vi brukt resultater fra ulike metoder som:

- Seismikk
- Strøk- og fallmålinger
- Kjernelogger
- Blotninger av svakt fjell

For å oppnå best mulig forståelse av de svake sonene, og å trekke konklusjoner ut i fra tilgjengelige data, valgte vi å bruke det digitale tegneprogrammet SketchUp (Trimble Navigation Limited, 2015). Det gir oss mulighet til å tegne tunneltraséer, seismikkprofiler, kjernelogger og svake soner under bakkenivå, inn i et ortofoto som følger høydekoter. Over bakkenivå tegner vi inn blotninger av svakt fjell og skisse av svak sone i dagen på bakgrunn av strøk- og fallmålingene til foliasjonsplanet i området. Programmet måler opp nøyaktige lengder slik at skissen skal kunne danne et nokså nøyaktig bilde av sonene. Ved hjelp av disse tegningene tolker man hvor de svake sonene ligger i dypet.

Oppmålinger i den ferdige 3D-tegningen har vært et nyttig verktøy. Ved hjelp av oppmålingsverktøyet kan man måle opp på hvilke dyp de ulike tunneltraséene skjærer de svake sonene. Disse målingene kontrolleres i forhold til profiltegningene av tunneltraséene hentet fra Statens Vegvesen (*Vedlegg 3*).

SketchUp benytter seg av grovere høydekoter enn enkelte av våre og Statens Vegvesen sine figurer og kart. Dette kan gi noen av målingene noen meters feilmargin. Sonene vi har lagt inn er med et konstant strøk, men i realiteten kan sonene svinge seg. Dette og kan gi en liten feilmargin i våre illustrasjoner. Men alt i alt har SketchUp vært et viktig verktøy for oss under plasseringen av sonene, og i hvilken grad de påvirker tunneltraséene.

Innføring til 3D-visualisering:

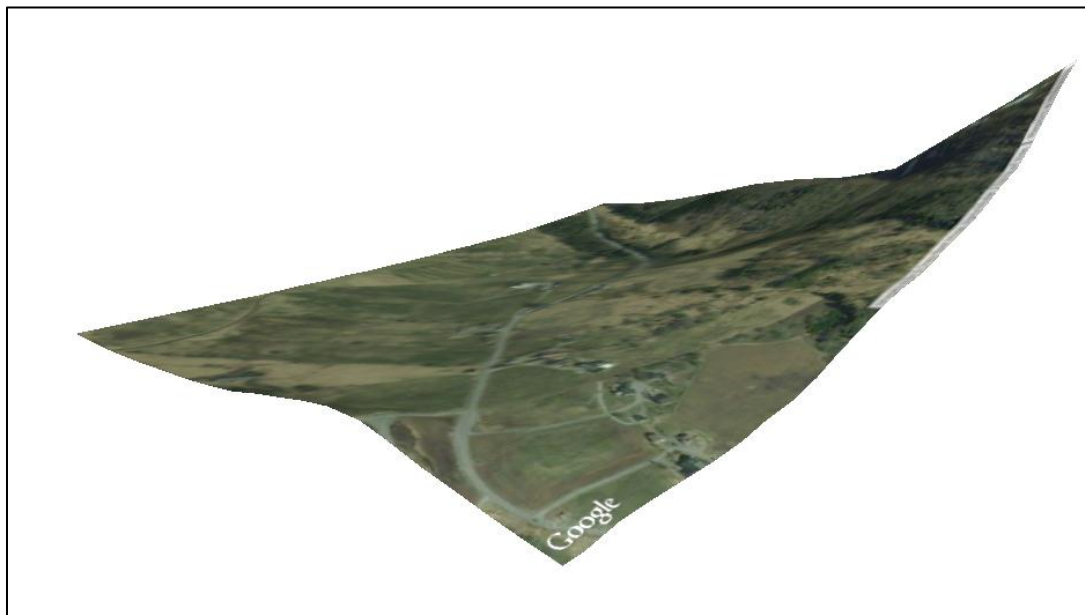
Dette er en kort innføring i hvordan ulike skisser, som tunneltraséer og seismikkprofil, vil bli vist i 3D-visualiseringen.

Hvis bildet sees fra fugleperspektiv vil et ortofoto over området vises som i *figur 16*:



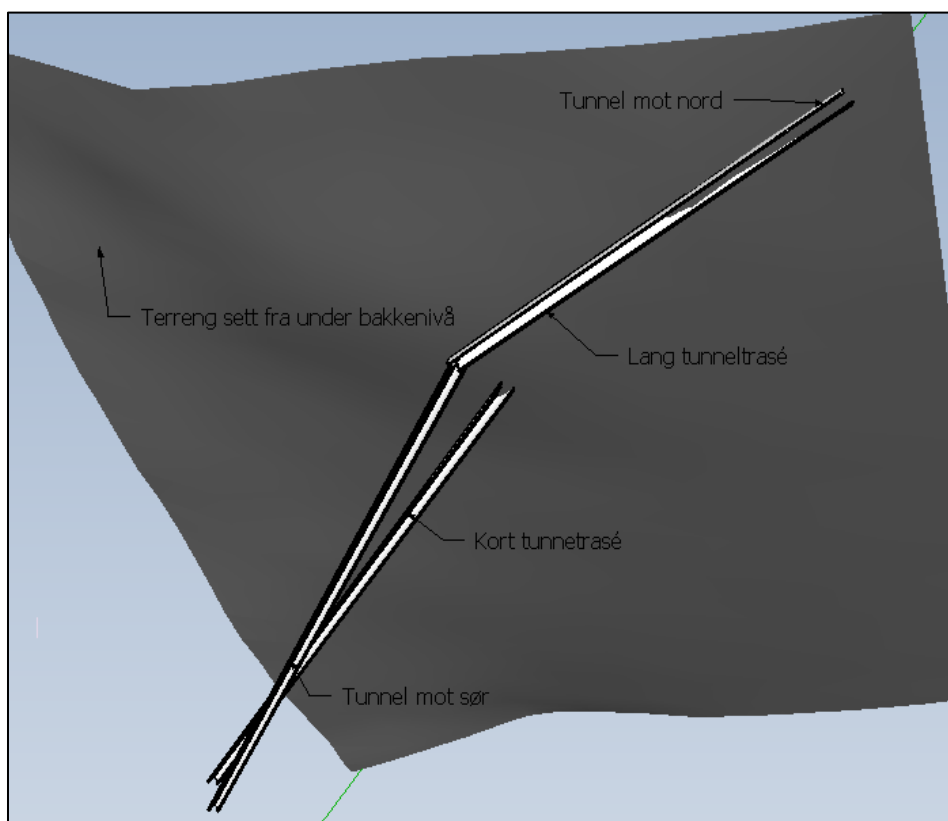
Figur 16: Illustrasjon som viser hvordan et fugleperspektiv over Myrmel ser ut i 3D-visualiseringen.

Ortofotoet (Figur 17) har blitt korrelert med høydekoter, og dette danner terrenget, slik:



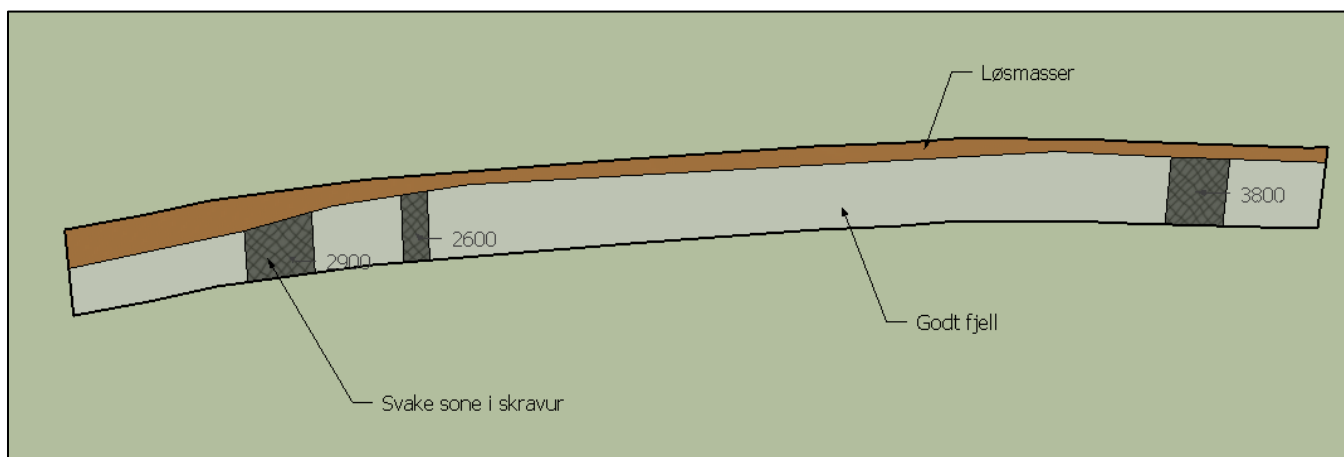
Figur 17: Bildet viser at terrenget er lagt inn, til høyre i figuren ser vi fotoet reise seg mot det som er bergveggen vest for tunneltraséene.

Skal bildet vise situasjonen under bakken vil ortofotoet/overflaten synes mørkegrått, slik som figur 18 viser:



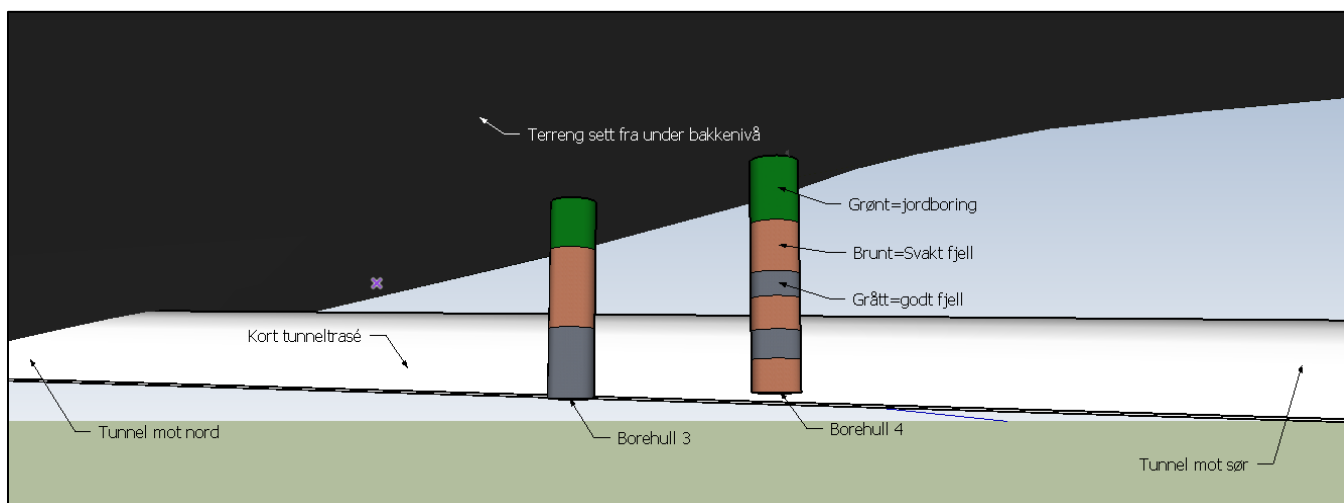
Figur 18: Figuren illustrerer hvordan figurene vil se ut fra under bakkenivå, her også vist med tunneltraséene.

Seismikkprofilene blir vist som en flate der løsmasser er tegnet som brunt felt, svakere fjell i mørkegrå skravur, og godt fjell som lysegrått. Tall merket på svakt fjell er seismikkhastigheten. En seismikkprofil slik den kommer fram i 3D-visualiseringen er presentert i *figur 19*:



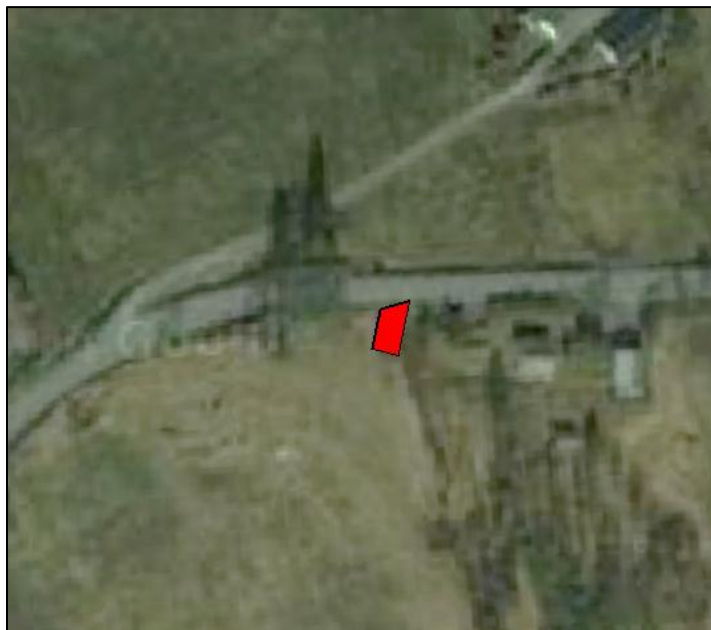
Figur 19: Figuren viser hvordan en seismikkprofil ser ut i programmet SketchUp. Mørkegrå skravur indikerer svakt fjell, lysegrått indikerer godt fjell og brunt indikerer løsmasser.

Kjernelogger blir vist som vertikale rør, der grønn farge viser jordboring (løsmasser), brun farge viser svakt fjell, og grå farge viser godt fjell. Tunneltraséen blir vist som en hvit bue. Borehull med tunneltrasé slik de kommer fram i 3D-visualiseringen er presentert i *figur 20*:



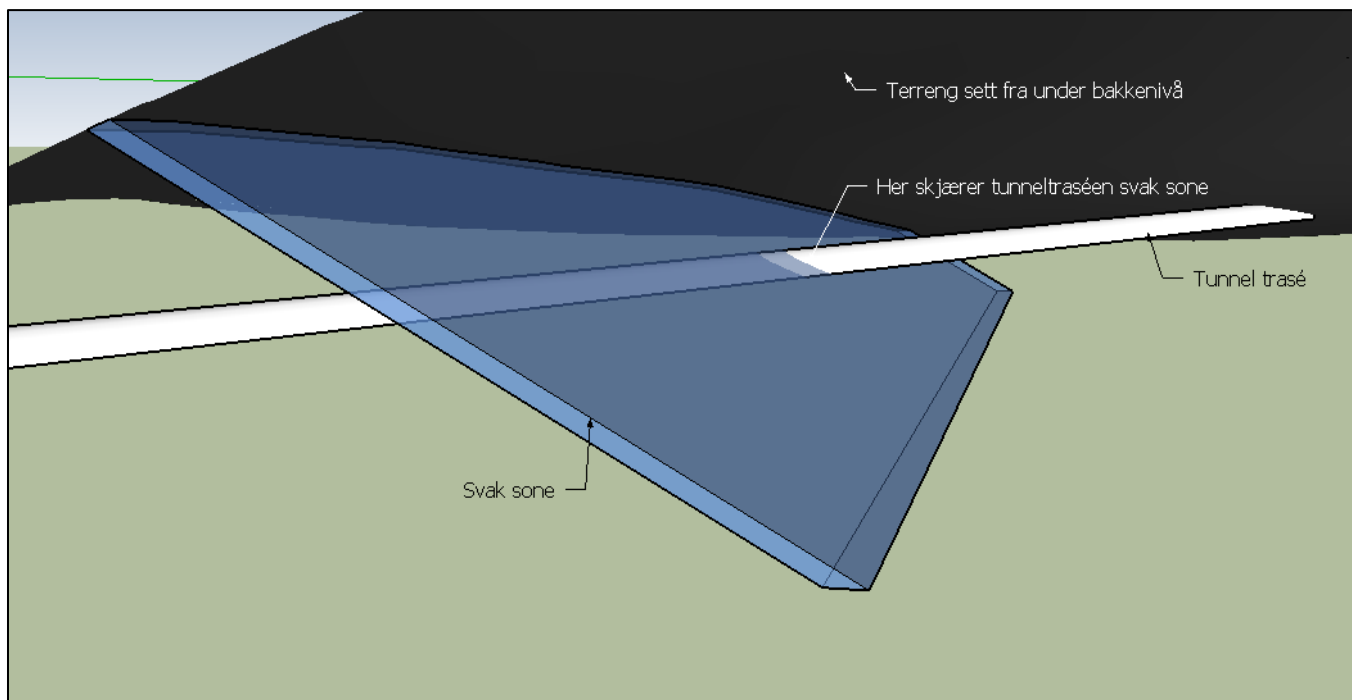
Figur 20: Figuren illustrerer hvordan kjerneloggene og tunneltraséene er fremstilt i 3D-visualiseringen. Vi ser at kjerneloggene har ulike fargekoder på de forskjellige segmentene avhengig av fjellkvalitet. Brun farge indikerer svakt fjell, grå farge indikerer godt fjell og grønn farge indikerer jordboring (løsmasser).

Blotninger blir markert som røde felt som vises både på oversiden og undersiden av ortofotoet vi har som grunnkart, slik *figur 21* viser det:



Figur 21: Illustrasjonen av hvordan blotningene (rødt felt) blir markert i 3D-visualiseringen.

De svake sonene blir lagt inn som blå flater. Disse vil følge strøk- og fallmålinger av foliasjonsplanet sett fra feltobservasjonene. Tykkelsen på flaten tilsvarer tolket tykkelse på svak sone.



Figur 22: Figuren illustrerer hvordan en svak sone ser ut i 3D-visualiseringen, og hvordan det ser ut når tunneltraséene skjærer gjennom den.

5.7.2 ArcMap

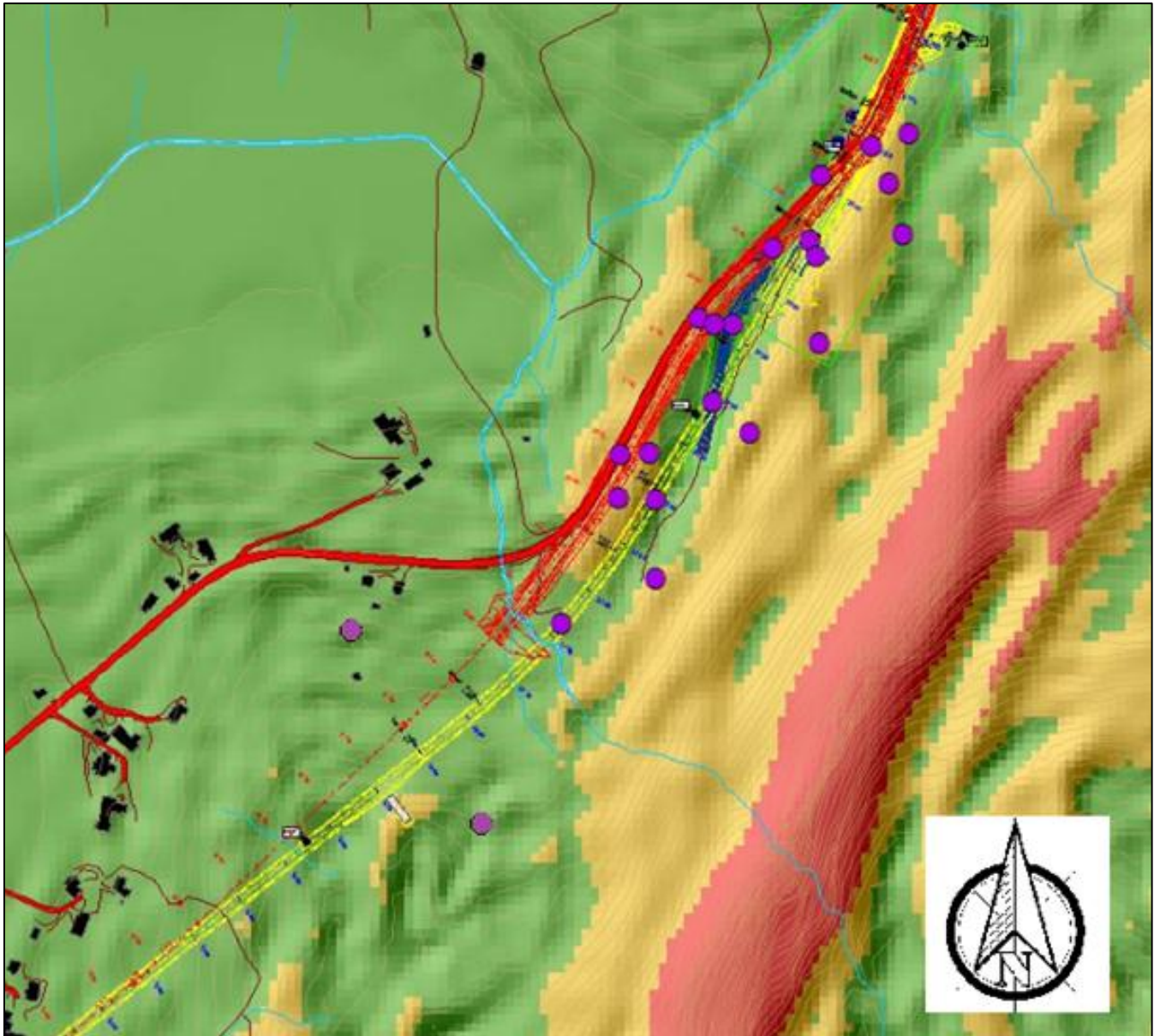
ArcMap er et kartredigeringsprogram hvor vi har laget forskjellige oversiktskart over Myrmel. Statens Vegvesen har gitt oss rådata av kort og lang tunneltrasé, bygg, vann, vei og høydekoter som dekker området vi jobber med. Vi har så supplert kartene med egne GPS-data som dekker Q-verdi, strøk og fall og løsmassebrønner.

For å finne utløsningsområder for steinsprang har vi laget et helningskart. Helningskartet er brukt til å lage skredbaner med helningsprofiler vi har brukt i dataprogrammet RocFall.

6. Resultat

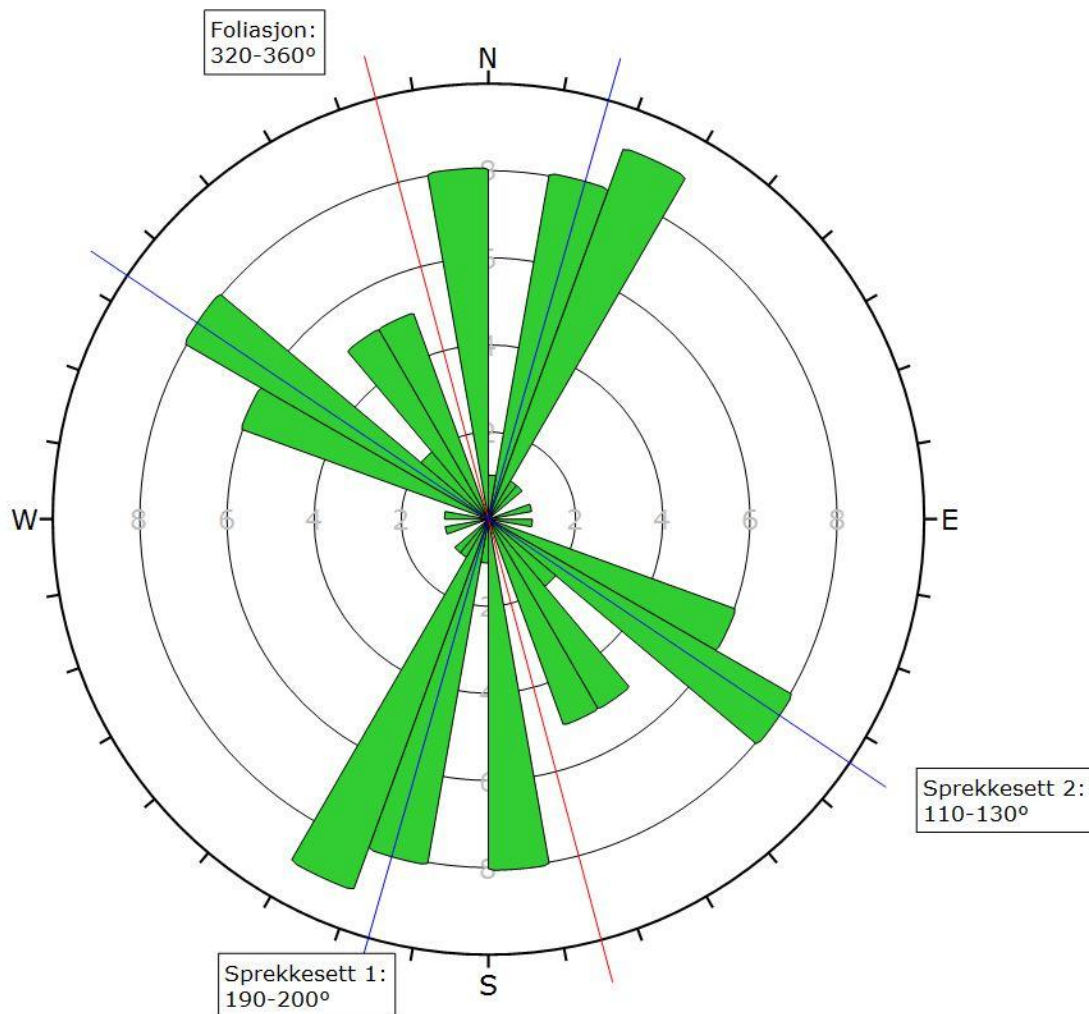
6.1 Ingeniørgeologisk kartlegging

For å finne ut strøk og fall på sprekksett rundt de nordlige tunnelpåhoggene har vi i felt tatt 56 målinger (Vedlegg 15) på blotninger vist i figur 23.



Figur 23: Strøk- og fall-målinger er merket lilla. Rød stiplet linje viser kort tunneltrasé, mens gul stiplet linje markerer lang tunneltrasé.

Målingene er blitt plottet inn i programmet Dips (Rocscience inc., 2015c). Her har vi først laget et rosedigram som viser hvilket strøk de tydeligste sprekkesettene har (*Figur 24*). Vi har utfra rosedigrammet tolket tre sprekkesett. Sprekkesett 1 har et strøk på 190-200° og sprekkesett 2 har strøk 110-130°. Det siste sprekkesettet har vi utfra feltundersøkelser i blotninger sett at er et foliasjonsplan. Vi har også i felt sett variasjon i strøket på foliasjonen, der forvitrede blotninger viser en mer nordlig strøketretning enn fast fjell. Dette ser vi igjen i rosedigrammet, der strøk på foliasjonsplan varierer mellom 320-360°.

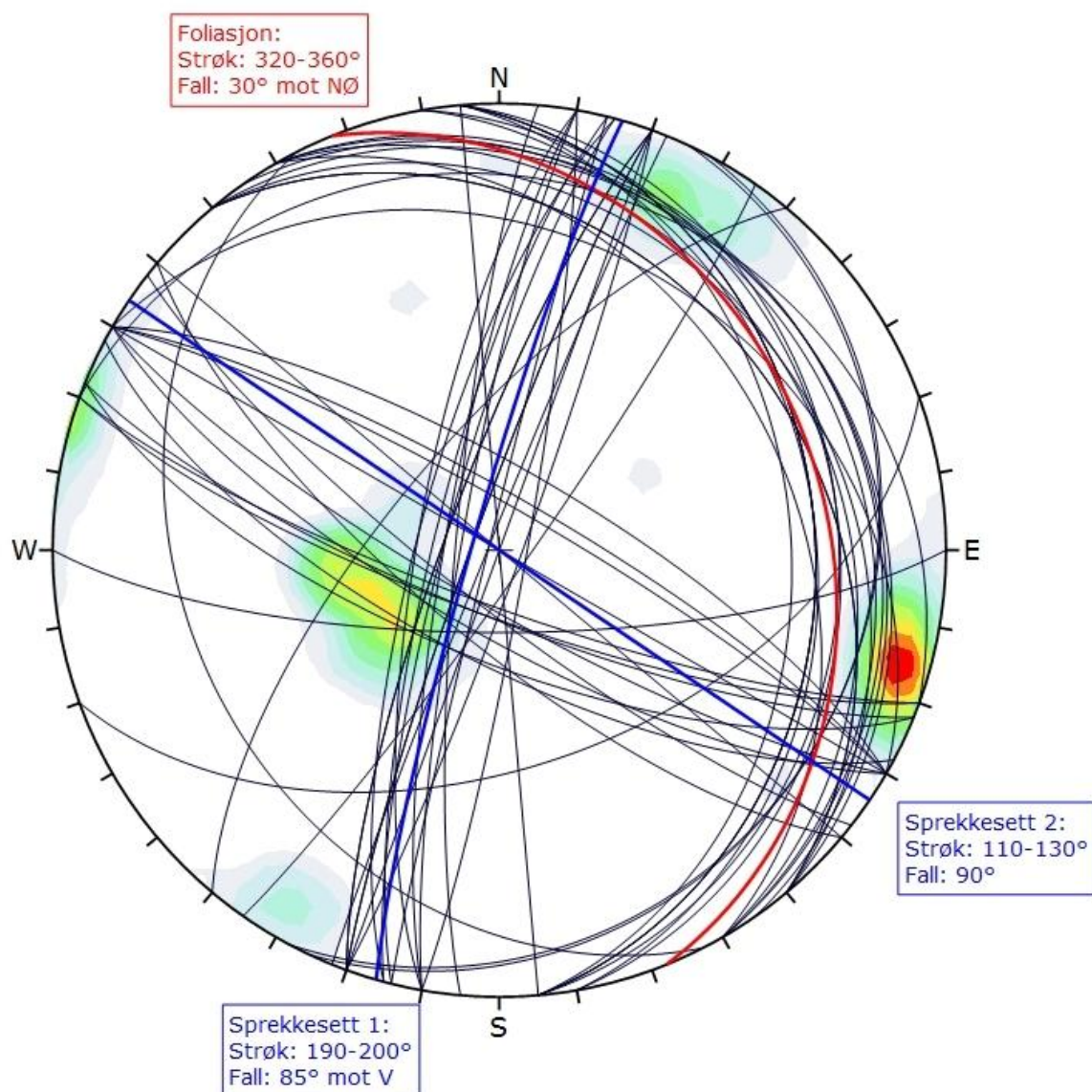


Figur 24: Rosediagram som viser sprekkesett og foliasjon. Lengre søyler tyder på flere målinger med lik himmelretning.

Rosediagrammet viser tre tydelige sprekkeseett. Ved å fremstille alle målingene i et stereonett (Figur 25), kan vi også finne ut den gjentakende fallvinkelen til de tre sprekkeseettene.

Gjennomsnittet av sprekkeene som blir vurdert som sprekkeseett 1 viser et lite fall mot vest, mens gjennomsnittet av sprekkeseett 2 er vertikalt, men med større spredning i fallvinkel.

Polplottet til sprekkeseett 1 viser dette tydelig med god samling av alle polplott som gir en sterk rød farge. Foliasjonsplanet har en gjennomsnittlig fallvinkel på 30° . Dette kan vi lese av i stereonettet på bakgrunn av at midten av den røde buen som markerer gjennomsnittsfoliasjonen skjærer linja fra ytterpunkt til origo ved punktet som er en tredjedel fra ytterpunkt.



Figur 25: Stereonett med sprekkeseett merket med blå bue, foliasjonsplan med rød.

På bakgrunn av strøk- og fallmålinger behandlet i programmet Dips, har vi tolket tre sprekkeseett i området rundt nordlige tunnelpåhogg (*Tabell 1*).

Tabell 1: Strøk- og fall-målinger

Sprekkeseett	Strøk	Fall
Foliasjon	320-360	30 Øst
Sprekkeseett 1	190-200	85 Vertikal(vest)
Sprekkeseett 2	110-130	90 Vertikal

6.2 Q-metoden

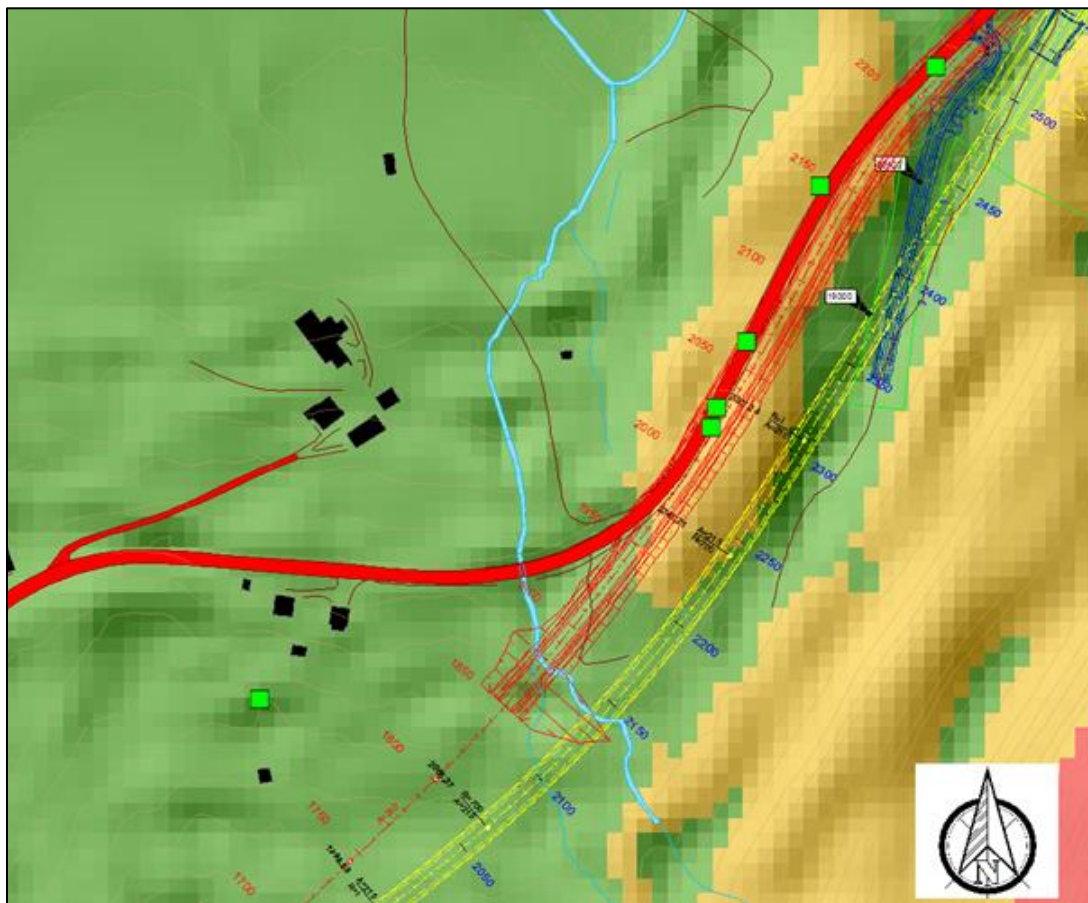
Q-metoden er blitt brukt for å regne ut verdier i fast fjell og i forvitringssoner. Kapittelet tar også for seg viktige refleksjoner rundt bruk av Q-metoden.

6.2.1 Fast fjell

Tabell 2 viser en oversikt over Q-verdiene vi har beregnet på fast fjell i felt. De ble målt på eksisterende veiskjæring langs E39, og ved blotninger i terrenget markert med grønne firkanter i figur 26.

Tabell 2: Q-verdier beregnet for fast fjell.

Stopp nr (GPSnr)	Q-lav	Q-høy	Beskrivelse
2 (016)	1,88	4,5	Fjell
3 (017)	6	13,3	Fast fjell
4 (018)	2,64	5,87	Fast fjell
5 (019)	2,48	6,6	Fjell
6 (023)	6	17,78	Fast fjell



Figur 26: Grønne firkanter markerer gjennomførte Q-målinger fra felt.

Tabell 3 viser en oversikt over parameterne som er brukt i beregningen av Q-verdiene, og resultatene ved bruk av disse. Parameterverdiene er vist som laveste til høyeste i forhold til Q-verdi. Q-lav er den laveste Q-verdien vi har målt, mens Q-høy er den høyeste Q-verdien vi har målt i felt.

Tabell 3: Oversikt over parameterverdiene vi brukte (høyest-lavest) og resultatene av Q-metoden på fast fjell.

Parameter	Parameterverdi	Q-verdi
RQD (oppsrekkingstall)	75-100 (god – utmerket oppsprukket)	$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SFR}$ <p>Q høy = 17,78 (sikringsklasse A/B, lite oppsprukket bergmasse)</p> <p>Q lav = 1,88 (sikringsklasse D, tett oppsprukket bergmasse)</p>
J _n (sprekkesett)	9-12 (3 sprekkesett – 3sprekkesett + tilfeldige sprekker)	
J _r (sprekkeruhetstall)	1,5-3 (glidespeil/ru eller ujevn/glatt – bølgete)	
J _a (sprekkefylling)	1 (uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksidasjon)	
J _w (sprekkevann)	1-0,66 (mindre innsig/fuktig eller noen få drypp- middels innsig/mange drypp)	
SRF (spenningsfaktor)	2,5-5 (liten overdekning og store horisontale hovedspenninger normalt på tunneltrasé)	

Resultatene viser sikringsklassene A/B til D (Tabell 4). I det beste fjellet vil det sannsynligvis kun være behov for spredt bolting og sprøytebetong med relativt liten tykkelse. Men de fleste målingene ligger innenfor klasse C-D. Klasse C krever systematisk bolting med sprøytebetong. I klasse D vil det kreves noe tykkere lag med sprøytebetong og endeforankret bolting. (Statens Vegvesen, 2010)

Statens Vegvesen har funnet Q-verdier på mellom 1,23 og 0,08 (Hynne, 2014a). Disse er utregnet fra eksisterende veiskjæringer nord for kort tunneltrasé. Q-verdi fra borehull 3 og borehull 4 gir bergmasseklasse D-E fra overflaten og 10 meter ned. Ned mot 20 meter er det varierende verdier. Borehullene penetrerer en svak sone og vil derfor vise noe lavere Q-verdi enn målingene vi har gjennomført i fast fjell.

Tabell 4: Bergmasseklasser for Q-verdier og sikringsomfang. (Statens Vegvesen, 2010)

Bergmasseklasse	Bergforhold Q-verdi ⁽¹⁾	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse Midlere sprekkeavstand > 1m Q = 10 -- 100	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm, ned til maks 2 m over såle
C	Moderat oppsprukket bergmasse Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m Q = 4 – 10	Sikringsklasse II - Systematisk bolting (c/c 2 m), endeforankrede, forspente, gyste - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm, sprøytes ned til såle
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 1 – 4	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm eller mer - Systematisk bolting (c/c 1,5 m), endeforankrede, endeforankrede som gyses i ettertid. eller gyste
E	Svært dårlig bergmasse Q = 0,1 – 1	Sikringsklasse IV - Forbolting ved Q < 0,2, ø25 mm, maks c/c 300 mm - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer ved Q < 0,2, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c 2 – 3 m, buene boltes systematisk c. 1,5 m, lengde 3 – 4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse Q = 0,01 – 0,1	Sikringsklasse V - Forbolting, c/c 200 – 300 mm, ø32 mm eller stag (selvborende) - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 – 250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c 1,5 – 2 m, buene boltes systematisk c. 1,0 m, lengde 3 – 6 m - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

6.2.2 Forvittringssoner

Nord for påhogg til kort tunneltrasé ligger en blotning med forvitret bergmasse i en veiskjæring langs nåværende vei. Sonen vises som blotning 1 i *figur 8* (kap.4). Her gjennomførte vi en Q-verdimåling. Forvitring resulterte i at flere av parameterne fikk unøyaktige verdier (*Tabell 5*).

Tabell 5: Parameterverdi for forvittringssone ved påhoggsalternativ for kort trasé.

Stopp nr (GPSnr)	Berg/sone	RQD	J _n	J _r	J _a	J _w	SRF
1 (015)	Forvittrings- sone	0-25 (Svært dårlig)	20 (Knust berg, jordaktig)	1 (Ingen begkontakt ved skjær- bevegelse)	6-8 (Ingen berg- kontakt ved skjær- deformasjon)	1 (Tørre bergrom eller mindre innsig)	2,5-5 (liten overdekning og store horisontale hoved- spenninger normalt på tunneltrasé)

Q-verdiene for blotning 1:

Q-høy:

$$Q = \left(\frac{25}{20}\right) \times \left(\frac{1}{6}\right) \times \left(\frac{1}{2,5}\right) = 0,0835$$

Q-lav:

$$Q = \left(\frac{1}{20}\right) \times \left(\frac{1}{8}\right) \times \left(\frac{1}{5}\right) = 0,00125$$

Resultatet viser at blotning 1 befinner seg i bergmasseklasse F/G (*Tabell 4*). Q-lav gir en verdi som mest sannsynlig er lavere enn den faktiske verdien ved blotning 1. Den forteller oss hvor dårlig fjellkvaliteten i verste fall kan være. Resultatet gir en tilnærming til hvordan bergmassekvaliteten mest trolig vil være i øvre del av alle svake soner i området.

6.2.3 Konklusjon

Q-verdiene vi har beregnet for fjellkvaliteten i fast fjell vil ikke by på store utfordringer for tunneldriving. Forvitringssonene vi har vurdert består av ustabil fjellmasse som vil kreve høyere grad av sikring. Hvor dypt forvitringen følger de svake sonene kan vi ikke si med sikkerhet, men sikringsomfanget kan bli omfattende. Bergmasseklasse G krever spesiell dimensjonering for driving og permanent sikring av tunnel (Statens Vegvesen, 2010).

6.2.4 Refleksjoner over vår bruk av Q-metoden

For Q-målingene i fast fjell har vi hovedsakelig brukt de samme parameterverdiene som Statens Vegvesen. Den største forskjellen er parameteren for sprekkefylling. Vi observerte sprekker med bare overflateoksidasjon ($J_a=1$), mens Statens Vegvesen observerte svakt omvandlede sprekkeflater ($J_a=2$) under deres synfaring. Dette vil gi våre målinger noe høyere Q-verdi.

Vi valgte å dele resultatdelen for bruk av Q-verdi i to utregninger. En for fast fjell og en for forvitringssoner. I fast fjell kan vi med større sikkerhet finne de ulike parameterne Q-metoden krever. Derfor blir resultatene også mer presise enn de fra soner med forvitret fjell.

Q-verdien vi beregnet ved blotning 1, er noe lavere enn hva Statens Vegvesen kom frem til. Som nevnt byr forvitrede blotninger på problemer når det kommer til presis vurdering av Q-verdi. Vi kunne for eksempel ikke telle sprekkesett, eller vurdere vann i sprekker. Det er hovedsakelig J_n , J_r og J_a som skiller seg ut fra beregningene Statens Vegvesen har utført i veiskjæringer nord for kort tunneltrasé.

Tabell 6: Parameterverdiene Statens Vegvesen brukte ved veiskjæringer nord for kort tunneltrasé, i motsetning til verdiene vi brukte ved blotning 1.

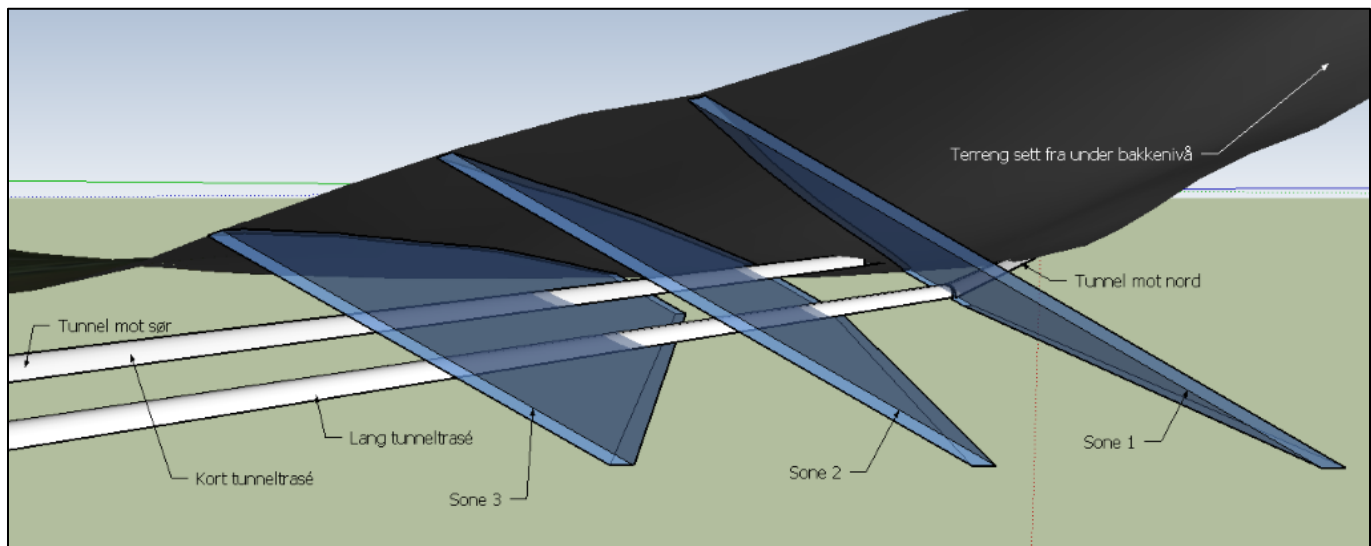
Statens Vegvesen (veiskjæringer)	Blotning 1
$J_n = 12$ (tre sprekkesett + tilfeldige sprekker)	$J_n = 20$ (knust berg, jordaktig)
$J_r = 2-3$ (ru/bølgete – glatt/bølgete)	$J_r = 1$ (sone som inneholder leirfylling tykk nok til å forhindre bergkontakt ved skjærdeformasjon)
$J_a = 2$ (svakt omvandlede sprekkeflater)	$J_a = 6-8$ (soner av bånd av desintegreert eller knust berg/soner og bånd av knust eller desintegreert berg og leire)

Vi vet ikke om Statens Vegvesen har utført målinger av Q-verdi på veiskjæring som er av like forvitret fjell som blotning 1. Dette kan være årsaken til at Statens Vegvesen ikke har brukt parameterverdiene vi kom frem til for denne blotningen.

Q-metoden er bygget på observasjoner gjort fra innsiden av tunneler. Dette gjør at viktige faktorer vurdert i veiskjæringer kan avvike fra de faktiske forhold ved tunneldriving. SRF må vurderes etter hvordan den horisontale hovedspenningen står i forhold til tunnelretningen. På Myrmel har vi en høy horisontal hovedspenning retning øst-vest, normalt på tunnelretningen. Disse bergspenningene har blitt målt til 19,5 MPa (Hansen, 1996) ikke langt unna Myrmel. Horisontal hovedspenning normalt på tunneltrasé kan gi tre ganger hovedspenningen i tunneltak. Dette kan føre til avskalling. Vi har ikke tatt dette med i våre beregninger av Q-verdier. Ved å legge inn disse spenningsforholdene i Q-verdiutregningene våre ville vi endt opp med en enda lavere Q-verdi.

6.3 Svake soner

Ved hjelp av blotninger av forvitret fjell, seismikkprofiler laget av GeoPhysix, strøk- og fallmålinger av foliasjonsplanet, kjernelogging av borehull ved nordlig påhogg og profiler av de to tunnelalternativene, har vi fått et grunnlag for å vurdere plassering av svake soner. Vi har brukt 3D-visualiseringsprogrammet SketchUp (Trimble Navigation Limited, 2015) for å tolke og fremstille resultatene (*Figur 27*).

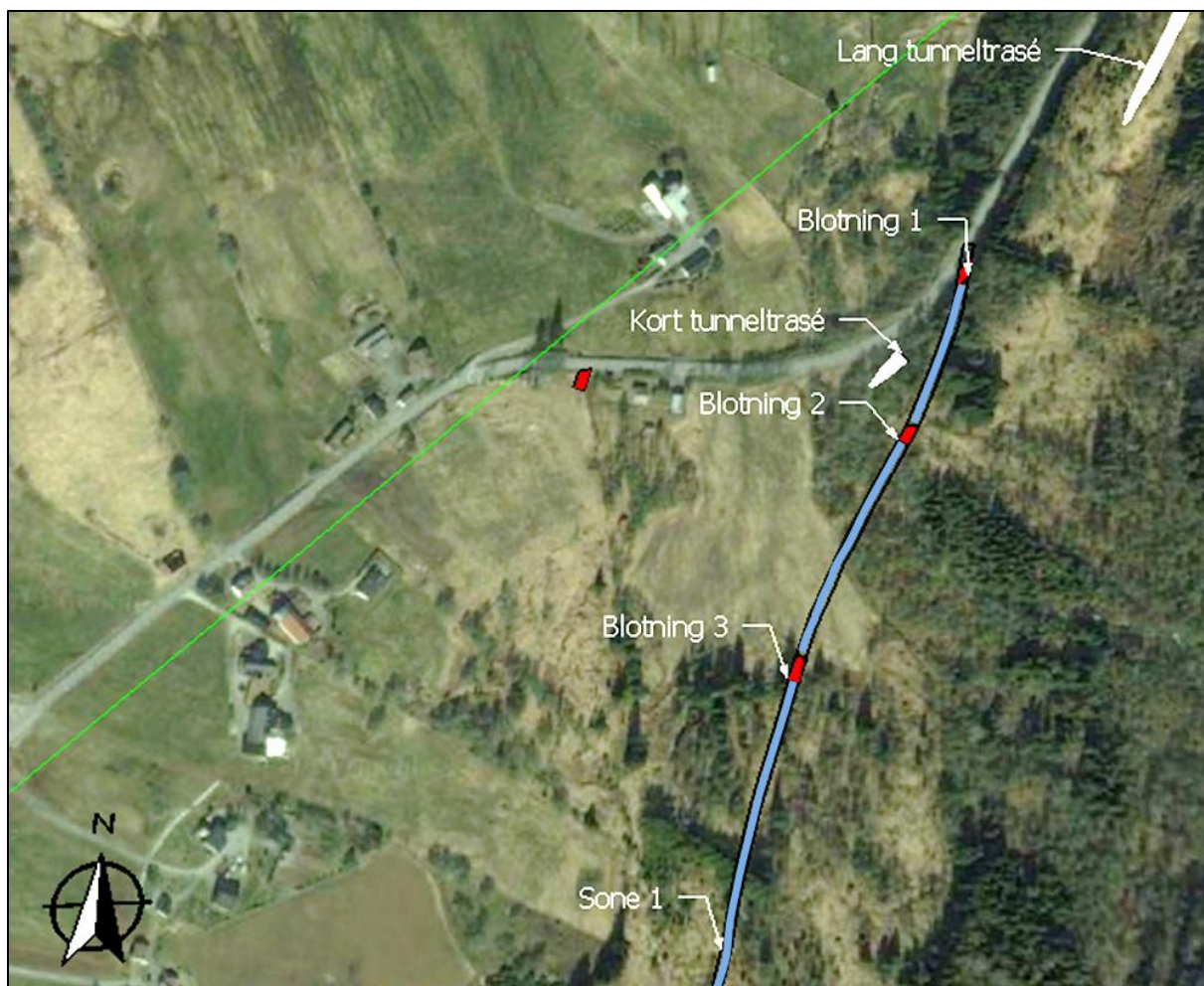


Figur 27: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, fra et østlig synspunkt. Her ser vi begge tunnelalternativene og hvordan de skjærer de tre sonene. Vi ser at lang tunneltrasé ikke skjærer sone 1, mens kort tunneltrasé skjærer sone 2 og 3 høyere oppe enn lang trasé.

6.3.1 Svak sone 1

«Svak sone 1» følger strøk og fall for foliasjonsplanet som ble målt i blotningene vist som røde områder i *figur 28*. Planet har et strøk på 360 grader med et fall på 30 grader mot øst.

Blotning 1,2 og 3 er blotninger som viser utstrekningen til «svak sone 1» i dagen. Disse følger strøket til foliasjonen. Siden terrenget er stigende fra blotning 1 mot blotning 3, og fallet er mot øst, vil blotningene av sonen dukke opp lengre mot vest ettersom man beveger seg mot sør (*Figur 28*).



Figur 28: Figuren viser 3D-modellen fra fugleperspektiv. Her ser vi blotninger (rødt) med forvitret fjell, der blotning 1, blotning 2 og blotning 3 følger «svak sone 1» (blå sone).

Blotning 1 ligger i veiskjæringen til nåværende vei. Her ser vi et område med forvitret fjell som er overlagret med solid fjell i nordøstlig retning. Det forvitrede området består av en løs bergart som kan minne om glimmerskifer (*Figur 29*). Det forvitrede området går i sør ut i en gressbakke. Dette gjør det umulig å si noe om bredden til det forvitrede området i denne blotningen.

Blotning 2 er en haug i terrenget, del av gammelt sandtak, som består av grusforvitret bergmasse med tynne kvartsrike lag. Haugen har et profil på ca. 3 meter i dagen, der det forvitrede materialet er gjennomgående i hele profilet. Omkring haugen med forvitret fjell er det morenemateriale og vegetasjon som gjør at det også her er vanskelig å vurdere bredden på den forvitrede sonen.



Figur 29: Blotning 2 viser et profil av den forvitrede sonen som består av en glimmerrik bergart med kvartsrike lag. Foto: Tor Takle Bore

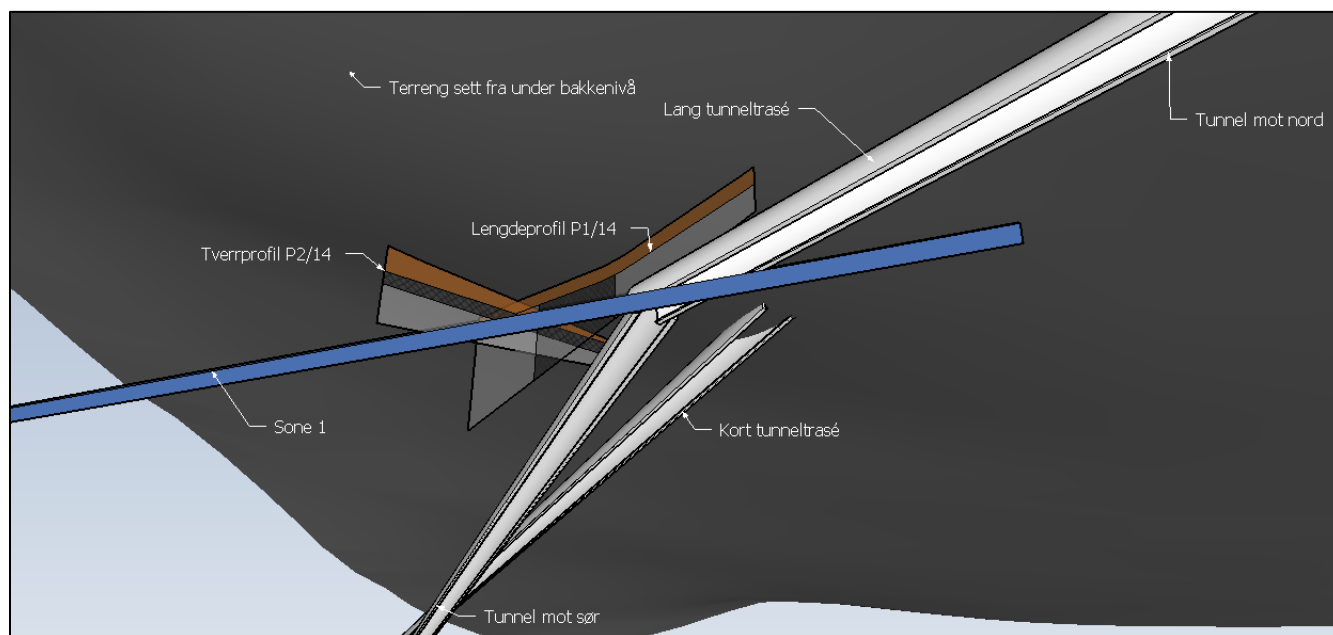
Blotning 3 ligger i et elveleie der elva tydelig har gravd et ca. 10 meter bredt søkk som følger retningen til den svake sonen. Det er naturlig å tro at elveleiet er lagt her fordi den svake sonen er lett å erodere. Her ble det observert fast fjell både over og under blotningen. Ut fra denne observasjonen og fallvinkelen til foliasjonsplanet har vi vurdert reell bredde på sonen til 5 meter.

I kontakt med vann og oksygen starter forvittringsprosessen i berggrunnen. Forvittringen vi ser i de tre blotningene kan derfor spre seg langs de svake sonene ned i dypet. Bergarten vi ser i blotningene forblir den samme, med lav Q-verdi og stor oppsprekking, men hvor langt ned i bakken forvittringen når, er vanskelig å bedømme.

For å underbygge strøk- og fallmålingene av foliasjonsplanet og vår tolkning av blotningene, har vi vurdert seismikk gjort langs to ulike profil i området vi har observert den svake sonen. Det er skutt et profil langs tunneltrasé for lang tunnel, og et tversgående profil normalt på tunneltrasé. Det langsgående profilet *P1/14* - del 1 (*Vedlegg 1*) har en 55 meter lang sone med hastighet på 3 700 m/s. Det tversgående profilet *P2/14* (*Vedlegg 2*) viser en sone med noe lavere hastighet i starten, mens det utover i profilet hovedsakelig er de øverste fem meterne som har en lavere hastighet, rundt 3 500 m/s.

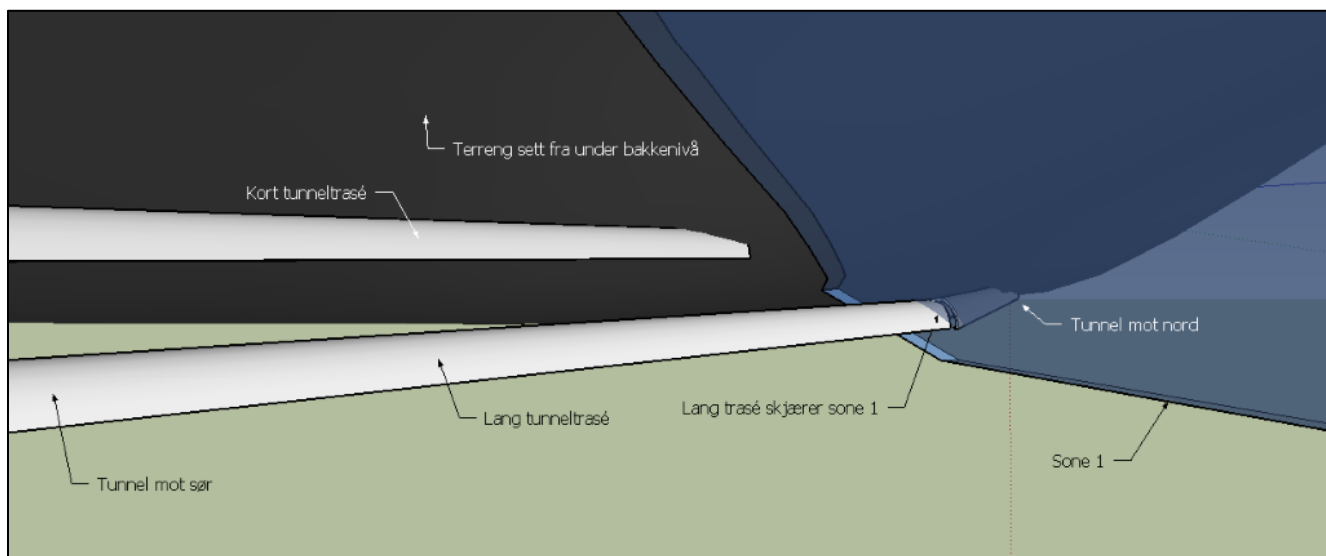
Ved å tegne seismikkprofilene i SketchUp (*Figur 30*), viste det seg at den svake sonen tegnet opp etter blotningene, kutter gjennom et lengre parti med lavere hastighet markert på det langsgående seismikkprofilet.

Ut fra figuren skjærer den svake sonen siste halvdel av det tversgående seismikkprofilet der lavere hastighet er registrert i de øverste 5 meterne av seismikkprofilet. Dermed støtter seismikkresultatet oppunder plasseringen av den svake sonen.



Figur 30: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, og vi ser fra et nord-østlig synspunkt. Her ser vi to seismikkprofiler P1/14 og P2/14 (*Vedlegg 1* og *2*) i tillegg til «svak sone 1» (blå) som skjærer profilene. Vi ser også at «svak sone 1» krysser lang tunneltrasé, og ikke kort tunneltrasé.

Etter tolkning og plassering av blotninger, og analyser av seismikkprofil er «svak sone 1» blitt plassert som vist på *figur 31*. «Svak sone 1» viser seg å kunne skape problemer for tunnelalternativet lang trasé, mens kort trasé ikke vil bli berørt av den svake sonen. «Svak sone 1» skjærer lang tunneltrasé (tunneltak), i en dybde på 13 meter under bakkenivå. Dette skjæringspunktet ligger mellom profil 2100-2200 som vi ser av *vedlegg 3*.



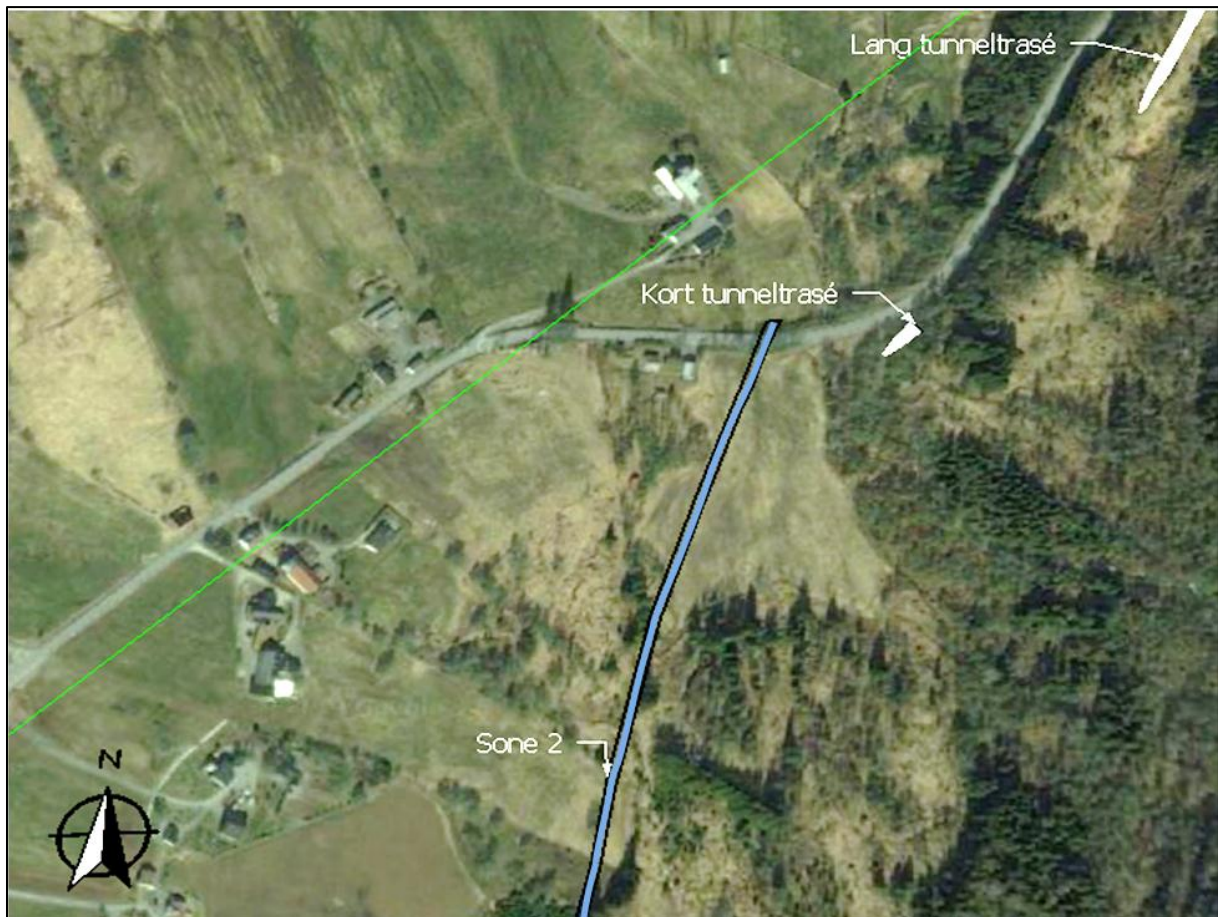
Figur 31: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, fra et sør-østlig synspunkt. Kort tunneltrasé løper ut i dagen et stykke før «svak sone 1», og slipper å skjære denne. Lang tunneltrasé skjærer «svak sone 1» på 13 meters dyp (tunneltak).

Ved profil 2100-2200 i *vedlegg 3* er overlagringen til lang tunneltrasé på sitt tynneste og består av 6 meter løsmasser over 7 meter fjell. Blotning 2 viser sterkt forvitret bergmasse like ovenfor tunneltraséen. Seismikkprofilet her (P1/14-del 1 - *Vedlegg 1*) viser gjennomsnittshastigheter på 3 700 m/s i de øverste 15 meterne av berggrunnen, mens tverrprofilen (*Vedlegg 2*) viser hastigheter ned i 3 500 m/s de øverste 5 meterne med fast fjell.

Skjæringspunktet mellom «svak sone 1» og lang tunneltrasé kan skape problemer for tunneldrivingen.

6.3.2 Svak sone 2

Utgangspunktet for skissering av «svak sone 2» er strøk- og fallmålinger av foliasjonsplanet. Det vil si at strøket til den svake sonen er 360 grader, og fallet 30 grader mot øst. Plasseringen av den svake sonen er vurdert utfra tolkning av seismikkprofiler og kjernelogger (*Figur 32*).

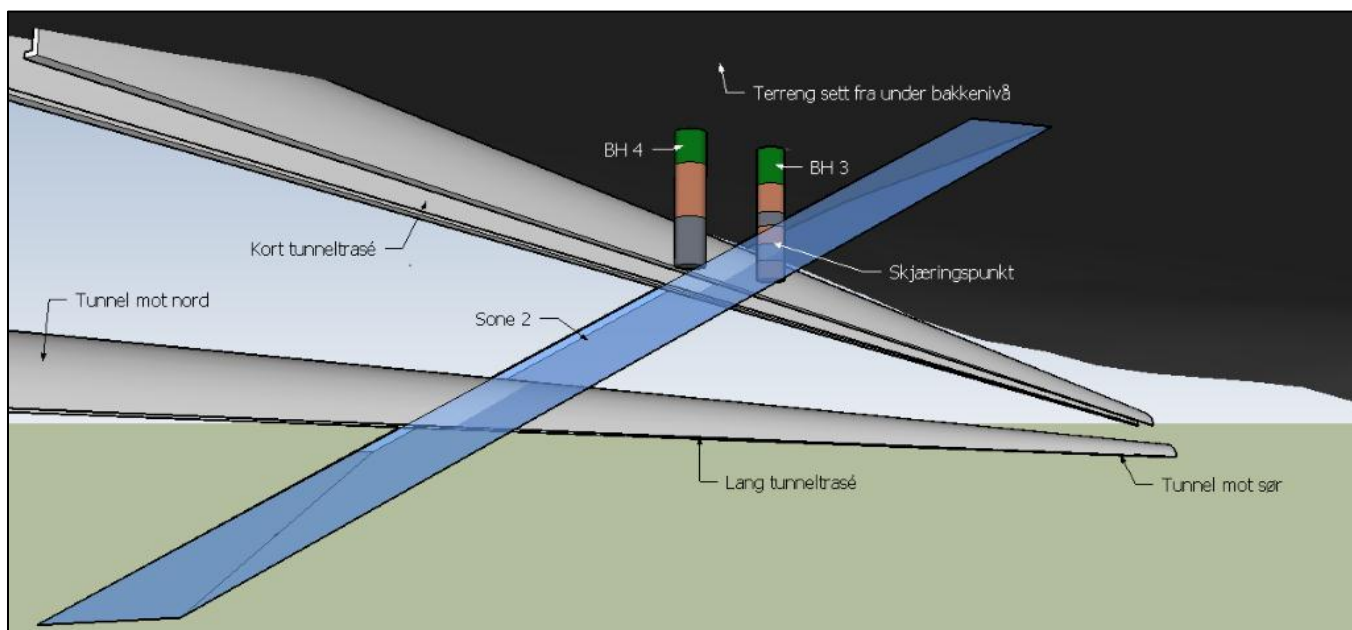


Figur 32: Plasseringen av sone 2 i terrenget er markert som blått område, og støttes opp av seismikk og kjernelogger.

To kjernelogger er brukt for å skissere «svak sone 2», fra borehull 3 (*Vedlegg 4*) og borehull 4 (*Vedlegg 5*). Dette er 20 meter dype borehull med alt fra fast fjell med få sprekker, til sterkt oppsprukne sekvenser. Borehull 4 har en sekvens med lav Q-verdi øverst i bergmassen ned til 13 meters dyp, deretter har borekjernen høy Q-verdi som tilsier godt fjell.

Borehull 3 (*vedlegg 4*) har generelt dårlig fjell ned til 16 meter, med en sekvens mellom 13-16 meter som er ekstremt dårlig. Denne sekvensen har soner helt uten kjerne. Det kan skyldes så forvitret fjell at det blir spylt ut i boreprosessen, eller naturlige hulrom i fjellet. Sekvensen har Q-verdi mellom 3 og 0,25. Det finnes både knusningsbreksje og båndet øyegneis i denne sekvensen. Under 16 meter er det logget bedre fjell med Q-verdier opp mot 17, før vi finner en mer oppsprukket sekvens de nederste 2 meterne av loggen.

Vi anser sekvensen i borehull 3 fra 13-16 meter, som mulig del av «svak sone 2». Utfra strøk- og fallmålinger og skjæringspunkt i borehull 3, vil «svak sone 2» skjære rett under borehull 4, altså dypere enn 20 meter fra bakkenivå. *Figur 33* viser hvordan «svak sone 2» skjærer borehull 3 i sekvensen ved 13-16 meters dyp.

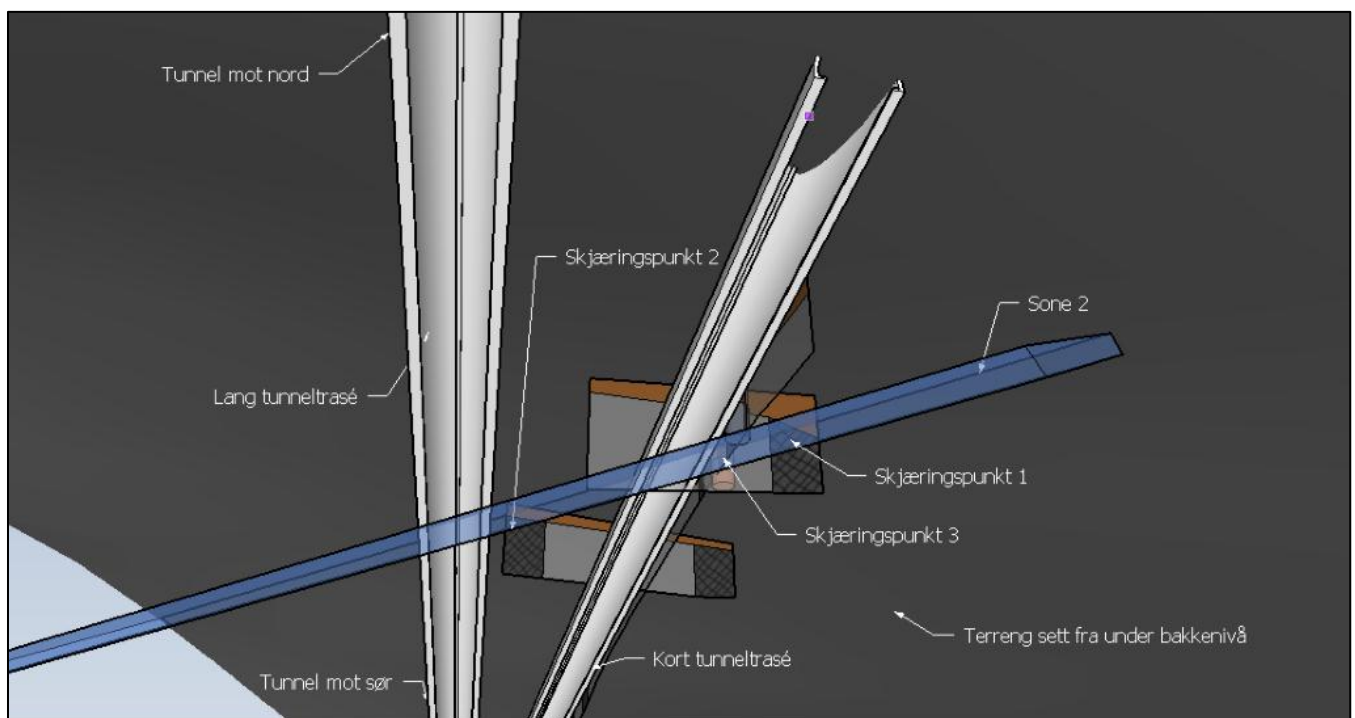


Figur 33: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, og vi ser i fra et nord-vestlig synspunkt. Bildet viser «svak sone 2» som skjærer borehull 3 sine svake segment merket brune, og dermed begrunner plasseringen av sonen.

Seismikkprofilene vi har brukt for å underbygge plasseringen av «svak sone 2» er én langsgående seismikkprofil (L1/13 – del 3 i Vedlegg 6) i tunnelretningen, og to tversgående seismikkprofil (L4/13 og L5/13 i Vedlegg 7).

Profil L1/13 - del 3 viser to partier med lavere hastighet, med hastigheter på henholdsvis 2 900 m/s og 2 600 m/s. Så lave hastigheter tyder på sterkt oppsprukket fjell. Vi har vurdert området rundt borehull 3 som et område med sterk overflateforvitring, som også kjernelogger fra begge borehull bekrefter. «Svak sone 2» skjærer gjennom begge de to partiene med lavere hastighet fra profil L1/13 - del 3. Dette kan vi lese ut av figur 34.

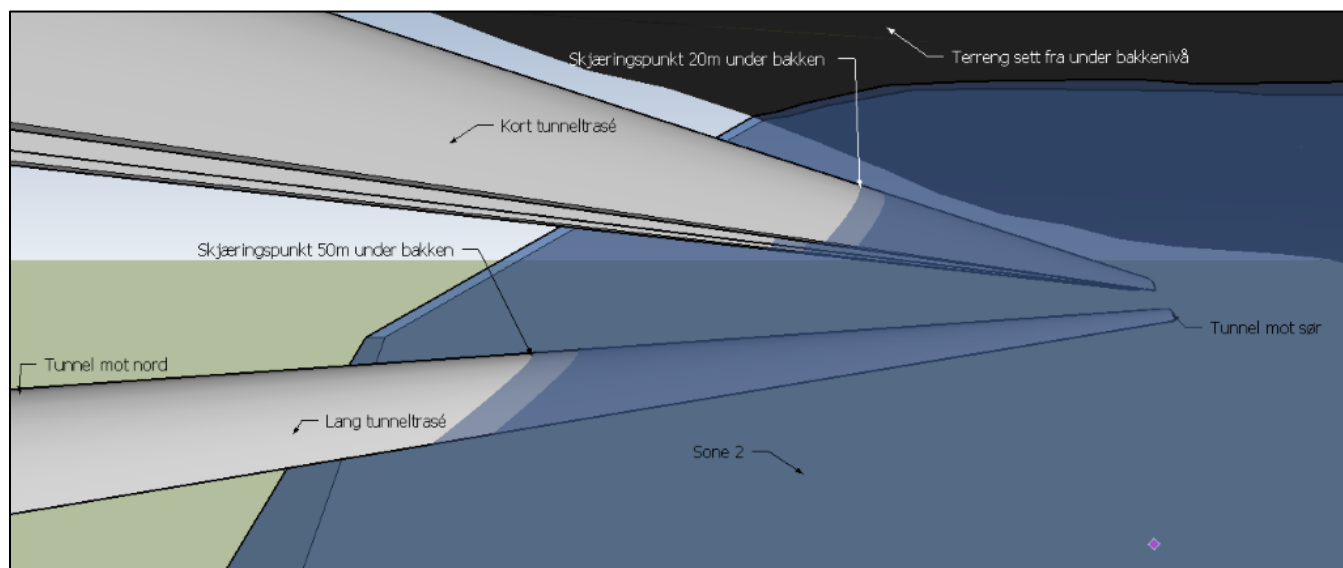
På de to tverrgående profilene krysser «svak sone 2» gjennom starten av seismikkprofil L5/13 (Vedlegg 7), fra 0-10 meter, der seismikken viser en lav hastighet, 2 900 m/s, i berggrunnen. «Svak sone 2» går også gjennom slutten av seismikkprofil L4/13 (Vedlegg 7), fra 53-70 meter. Her er hastigheten 3 200 m/s. Figur 34 viser hvordan «svak sone 2» skjærer seismikkprofil L4/13 og L5/13.



Figur 34: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, og fra et nordlig synspunkt. Her ser vi tre viktige skjæringspunkt. Skjæringspunkt 1 og 2 viser at «svak sone 2» kutter skraverte områder i henholdsvis seismiskverrprofil L5/13 og L4/13. Skjæringspunkt 3 viser skjæringen til «svak sone 2» gjennom dårlige sekvenser i kjerneloggene og to skraverte områder i den seismiske lengdeprofilen L1/13 del 3.

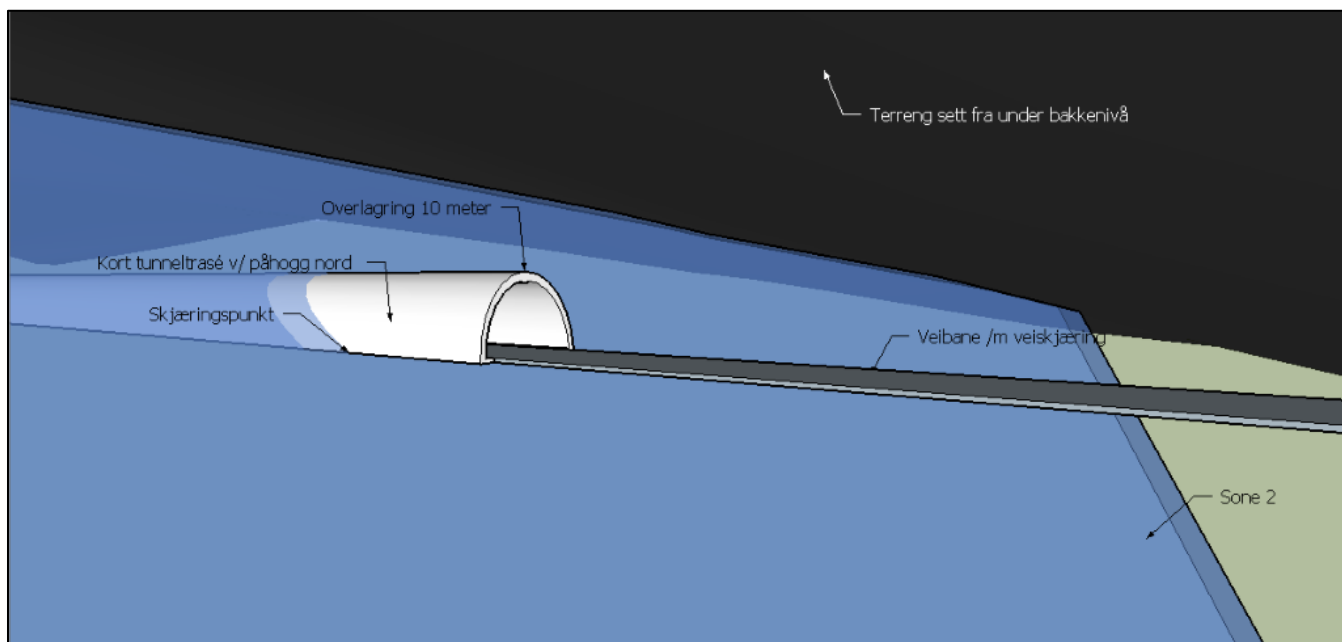
Ut fra tolkning av seismikk og kjernelogger har vi plassert «svak sone 2» gjennom sekvensen fra 13-16 meter i borehull 3, så den blir liggende under sekvensen med godt fjell nederst i borehull 4. I området rundt borehullene er det med ulike metoder målt så mye dårlig fjell at det er vanskelig å plassere «svak sone 2» nøyaktig, og vite noe om bredden på sonen. Det svake partiet rundt 13-16 meter i borehull 3 samsvarer best med seismikken på bakgrunn av strøk og fall-målingene til foliasjonsplanet. Vi vurderer den øverste sekvensen i borehull 4 som overflateforvitring, og ikke en del av den svake sonen.

«Svak sone 2» skjærer både tunnelalternativ for kort og lang trasé som vist i *figur 35*. Kort tunneltrasé krysser «svak sone 2» 20 meter under bakkenivå. Lang tunneltrasé krysser «svak sone 2» 50 meter under bakkenivå.



Figur 35: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, og i fra et nord-vestlig synspunkt. Her ser vi kort tunneltrasé skjære «svak sone 2» 20 meter under bakkenivå. Lang tunneltrasé skjærer «svak sone 2» 50 meter under bakkenivå.

Figur 36 viser hvordan «svak sone 2» ligger i forhold til tunnelpåhogg for kort trasé. Avstanden fra tunnelpåhogg til der tunneltraséen skjærer «svak sone 2» er kun 15 meter. I tillegg viser kjerneloggene tatt i området spor av forvitring helt ned mot 8 meters dyp. Overlagringen ved tunnelpåhogg er kun 10 meter. «Svak sone 2» kan derfor skape problemer for tunneldrivingen i påhoggsområde til kort tunneltrasé.



Figur 36: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, og i fra et nord-østlig synspunkt. Bildet viser tunnelpåhogg for kort tunneltrasé med veibane mot nord. Veibanen er vist under bakkenivå på grunn av at vei skal bygges ned i terrenget med veiskjæringer. Tunnel skjærer «svak sone 2» etter 15 meter.

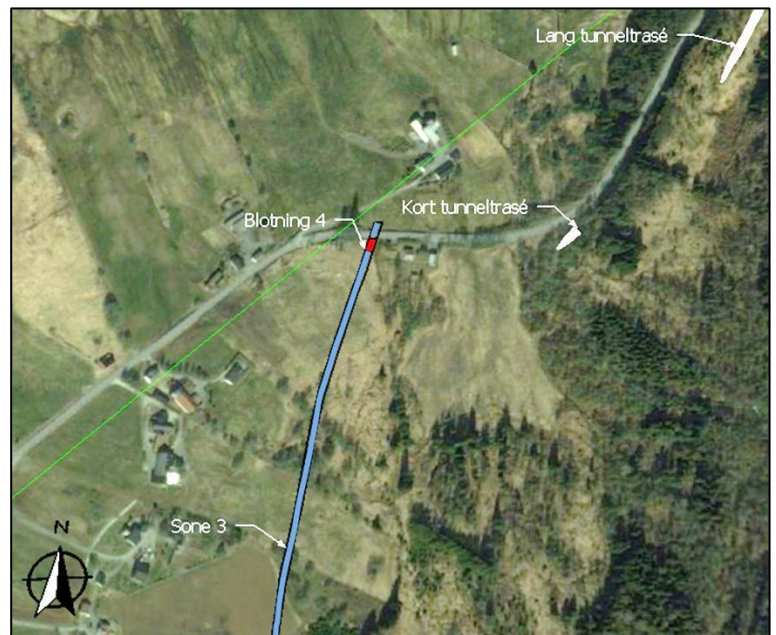
6.3.3 Svak sone 3

Den vestligste svake sonen vi har funnet er tolket og plassert utfra seismiske profiler, én blotning og samme strøk og fall som de andre svake sonene.

Blotning 4, som er markert med rød firkant i *figur 37*, er preget av sterkt glimmer- og grusforvitret fjell med tynne kvartslag (*Figur 38*). Det er samme observasjon som er gjort i blotninger over «svak sone 1». Forvitring i blotning 4 sier likevel lite om hvordan forholdene er lengre nede i den svake sonen.



Figur 38: Bilde fra blotning 4, viser forvitret bergart i sone 3.

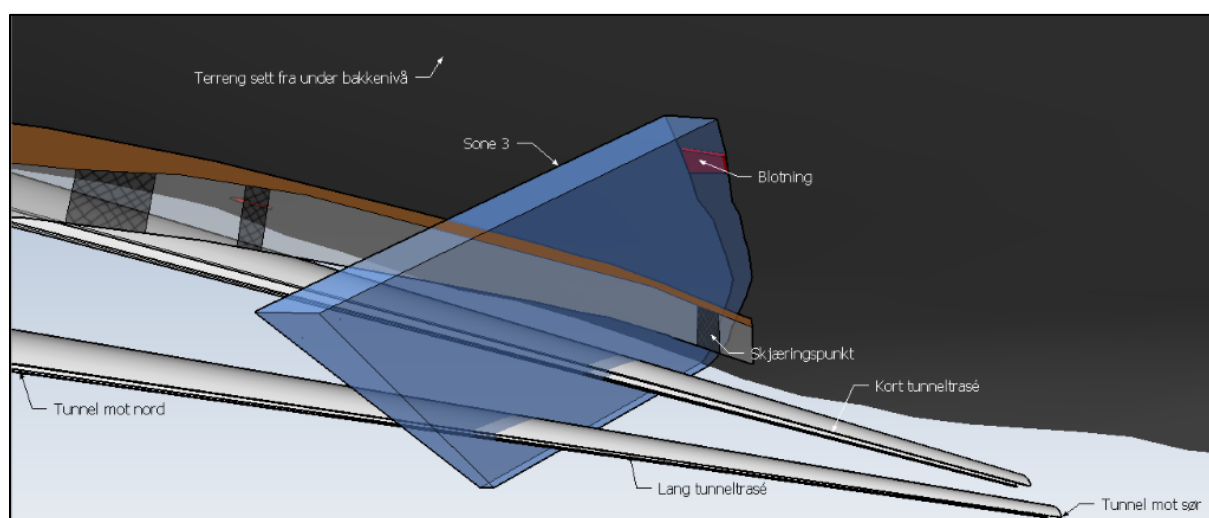


Figur 37: Oversiktskart over "svak sone 3", med avmerket blotning 4 (rødt) og tunnelpåhogg.

Fra blotning 4 la vi inn «svak sone 3» langs foliasjonsplanet som vist i *figur 37*. Selv om foliasjonsplanet har strøk mot nord, blir «svak sone 3» i dagen fra blotning 4 dratt mot vest på grunn av jevn stigning sørover langs sonen.

Langs det seismiske lengdeprofilet (L1/13 - del 2) som følger traséen til kort tunnelalternativ (Vedlegg 8) er det tolket et parti med lavere hastighet. Det er et område med hastighet 3 800 m/s.

Vi har brukt dette seismikkprofilen til å underbygge tolkningen av «svak sone 3». *Figur 39* viser hvordan sonen strekker seg fra blotning 4 i vegskjæringen merket med rød firkant, til den skjærer det skraverte partiet på lengdeprofilen (skravert mørkegrått) som indikerer oppsprukket fjell.



Figur 39: Figuren viser 3D-modellen fra under bakkenivå, og fra et vestlig synspunkt. «Svak sone 3» strekker seg fra blotning 4 (rødt) til skravert sone i seismikkprofil L1/13. Vi ser at kort tunneltrasé skjærer sonen nærmere dagen enn lang trasé.

På *figur 39* ser man at kort tunneltrasé skjærer «svak sone 3» nærmere dagen enn lang tunneltrasé, 36 meter under bakkenivå. Lang tunneltrasé skjærer «svak sone 3» 61 meter under bakkenivå.

Både lang og kort tunneltrasé har i skjæringspunktet med «svak sone 3» god overlaging. Det er heller ingen komplikasjoner med tunnelpåhogg. «Svak sone 3» kan påvirke tunneldrivingen, men vil ikke ha noen innvirkning på valget av endelig tunneltrasé ved Myrmel.

6.3.4 Konklusjon svake soner

Utfra det vi ser i blotningene finnes soner med svakere fjell grunnet større glimmerinnhold enn rundtliggende berggrunn. Om forvitringen går dypt nok ned i disse sonene til å bli selve problemet for tunnelen, eller om det er svake soner i form av høy oppsprekkingsgrad, som skaper utfordringer for tunneldrivingen er vanskelig å bedømme utfra blotningene. De svake sonene kan med en bredde på rundt 5 meter hver, utgjøre problem for tunneldrivingen. Med tunnelhøyde på 9,5 meter vil tunneldrivingen fra nord totalt drive gjennom svak sone i 27 meter fra den går inn i svak sone i tunnelgulv, til svak sone går ut av tunnelen i tunneltak.

Svake soner kan vise seg å ha innvirkning på valg av tunneltrasé på grunn av to skjæringspunkt gjennom tunnelalternativene. Skjæringspunktet mellom «svak sone 1» og lang tunneltrasé har liten overlaging, med ned mot 4 meter fjell over tunnelheng.

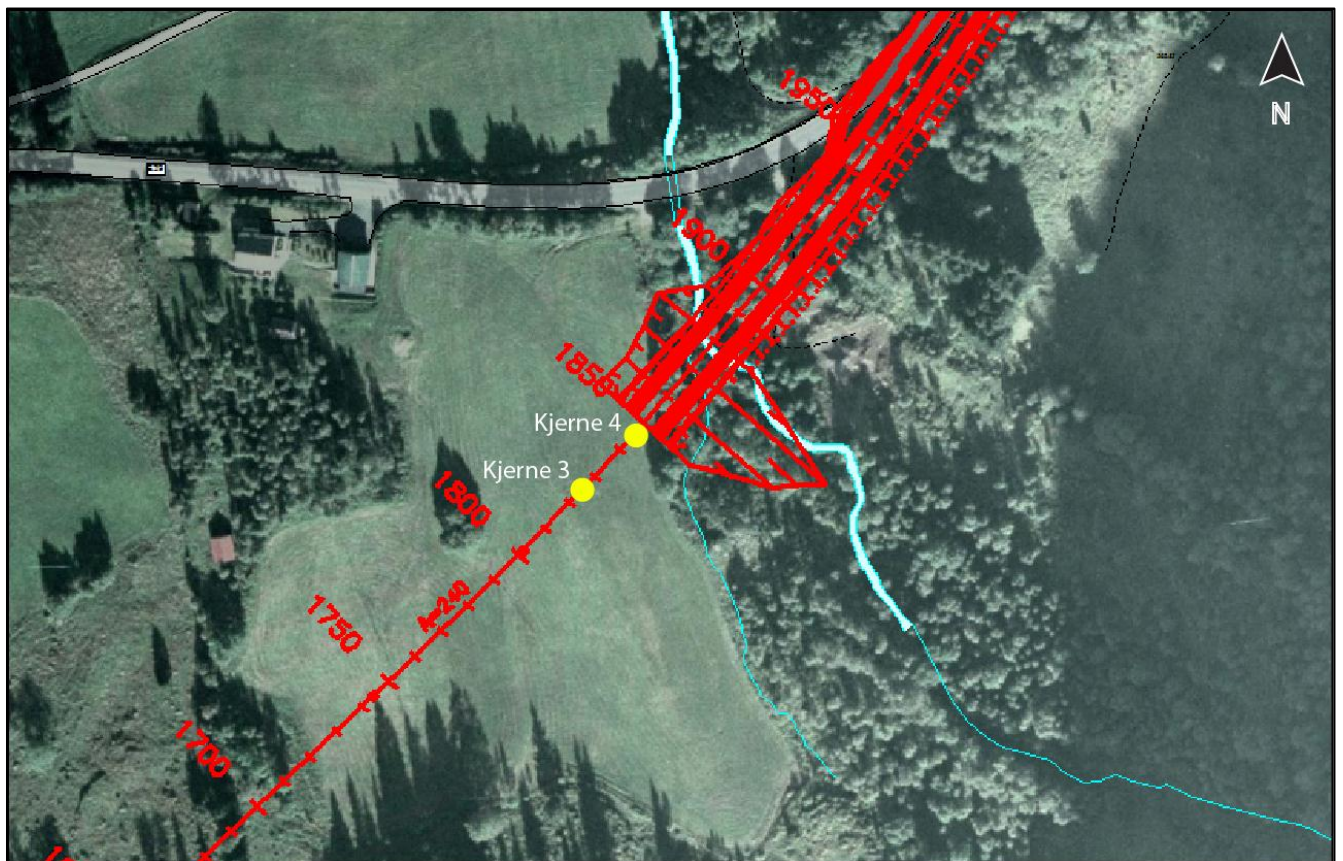
Skjæringspunktet mellom kort tunneltrasé og «svak sone 2» ligger kun 15 meter fra tunnelpåhogget, i tillegg til å ligge i et område med stor overflateforvitring og liten overdekning.

6.4 Påhoggsområder og veiskjæringer

På Myrmel skal det bygges tunnel med liten overlaging ved nordlige tunnelpåhogg. Liten overlaging kan gi utfordringer for tunneldrivingen ved tunnelpåhogg. I tillegg vil liten overlaging gi store veiskjæringer langs påhogg og vei i dagen.

6.4.1 Kort trasé

Påhoggsalternativet for kort trasé ligger ved profil 1850 på *figur 40*. Her er overlaging fra terrengoverflate til tunneltak 10-11 meter. Overlagringen øker raskt til 20 meter ved profil 1800.



Figur 40: Påhoggsalternativ for kort tunneltrasé. Påhogg vist ved profil 1850, med plassering av borehull 3 og borehull 4. (Hynne, 2014b)

Dette er i et område der både seismikk og kjernelogging viser stor utbredelse av overflateforvitring. Ved antatt tunnelpåhogg er det gjort kjernelogging i borehull 4 (*Vedlegg 5*). Borehull 4 viser 5 meter med løsmasser som overlager tunnelpåhogget. Deretter finnes en sone på 3 meter ned til 8 meter dyp, der fjellet er oppsprukket eller knust med spor av forvitring og Q -verdier < 1 . Totalt gir dette kun en overlaging på 2-3 meter med båndet øyegneis og båndet gneis med Q -verdier fra 2,96-6,67.

Etter 10-15 meter, litt forbi der tunnelen møter borehull 4 (*Vedlegg 5*), ligger en 5 meter tykk svak sone som kan skape problemer for tunnelpåhogget (*Figur 36*). Den svake sonen vil først møte tunneldrivingen i tunnelgulv, for så å gå ut i tunneltak etter 25 meter, dette grunnet det 30 graders fallet den svake sonen har.

Et tunnelpåhogg med overflateforvitring, liten overlagring og svak sone vil kreve omfattende sikringsarbeid første 40 meter av tunneldrivingen. Et alternativ er å flytte tunnelpåhogget til profil 1810 (*Figur 40*), noe som vil fjerne problematikken med svake soner.

En vei i dagen ved kort trasé vil ha skjæringer på 450 meter, som strekker seg over to partier. Hele strekningen vil kreve rensking av løst fjell. Utfra Q-målinger i nåværende veiskjæring varierer Q-verdiene fra 1,88 til 17,78 med hovedtyngde i moderat til tett oppsprukket bergmasse. Partier med tett oppsprukket bergmasse vil etter håndbok 018 (Statens Vegvesen, 2011) kreve mer omfattende sikringsmetoder som bergbånd og steinsprangnett. Ved tunnelpåhogg vil forskjæringer være opptil 13 meter på begge sider av veibanen. Hvis tunnelpåhogg blir flyttet til 1810-profilet, vil forskjæringene øke til opp mot 20 meter.

6.4.2 Lang trasé

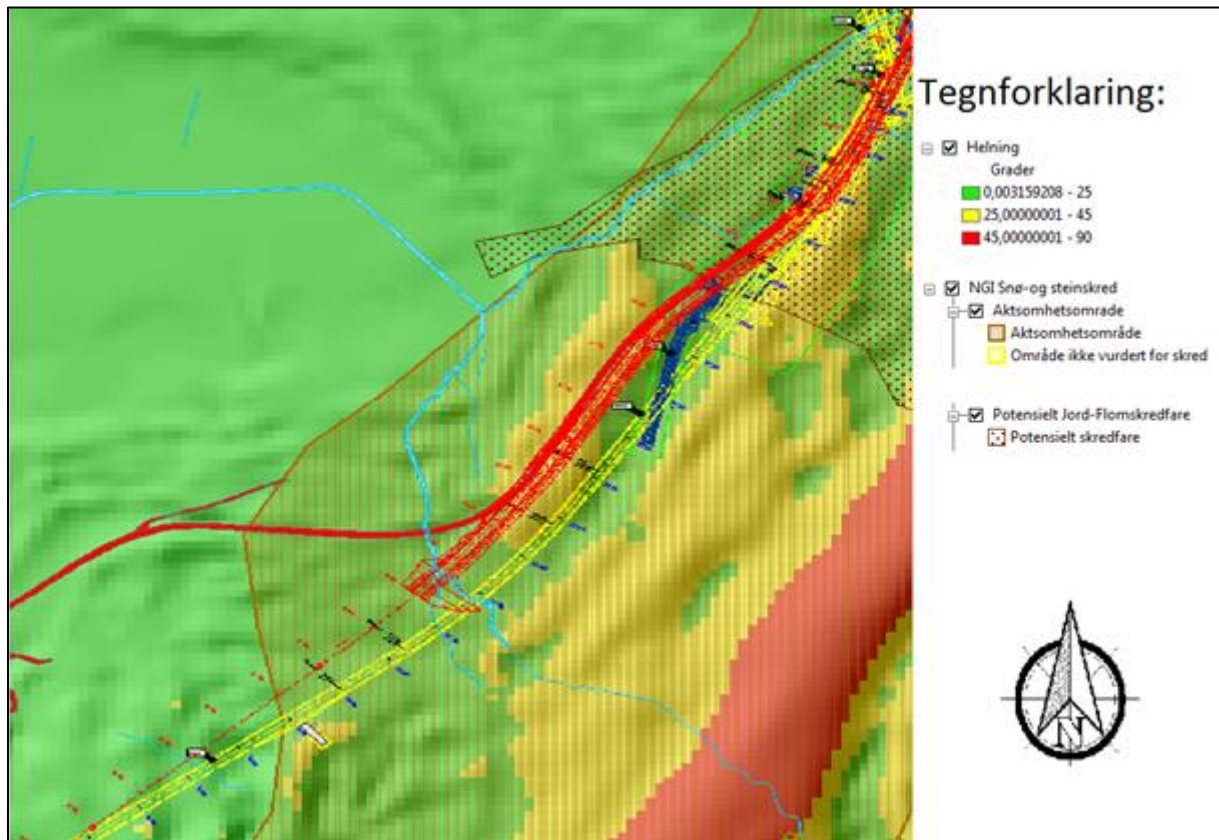
Påhogget til lang trasé ligger ved profil 2500 (*Vedlegg 3*). Overlagring ved påhogg er 7 meter, med ca. 0,5 meter løsmasser på toppen. Overlagring øker raskt til 15 meter ved profil 2400. Det må vurderes om bergmassen i påhogg er god, men overlagring med 6 meter godt fjell krever lite sikringsarbeid. Dette er et bra utgangspunkt for tunnelpåhogget.

Forskjæringen ved påhogget blir anslått til 15 meter på begge sider, men kan bli betydelig høyere hvis vei blir dratt inn i terrenget mot nåværende naturlige skjæring observert i våre feltundersøkelser ved påhogget. Vei i dagen etter tunnelpåhogg for lang trasé vil kreve veiskjæring i 200 meter fra tunnelpåhogg. Q-verdiene målt i veiskjæring for nåværende vei vil være overførbare til nye veiskjæringer grunnet like berggrunnsforhold. Etter håndbok 018 (Statens Vegvesen, 2011) vil det også her kreves rensking av løst fjell, og i partier med tett oppsprukket bergmasse, mer omfattende sikringsmetoder som bergbånd og steinsprangnett.

6.5 Skredfarevurdering

I en risikovurdering er det viktig å identifisere hvilke uønskede hendelser som kan inntreffe.

Uønskede hendelser som kan inntreffe er i dette tilfellet er skred. Skredtypene som kan utgjøre en fare ved de alternative tunnelpåhoggene i nord fremgår av aktsomhetskartene vist i *figur 41*. Ifølge aktsomhetskartene er påhoggsalternativene utsatt for skredtypene steinsprang, snøskred, jordskred og flomskred.



Figur 41: Aktsomhetskart for snø- og steinskred (NGI, 2009b) og for jord- og flomskred (NGU, 2014), ved tunnelpåhogg i nord. Lang tunneltrasé merket med stiptet gul linje, kort tunneltrasé merket med stiptet rød linje (Statens Vegvesen, 2015b).

Som nevnt krever en reguleringsplan en fullverdig skredfarevurdering hvis planområdet ligger innenfor aktsomhetsområder for skred. Det vil si en vurdering av alle skredtyper. (NVE, 2011)

6.5.1 Snøskred

Snøskred er masser av snø som kan løsne i terreng mellom 28 og 60 grader (Norem, 2011).

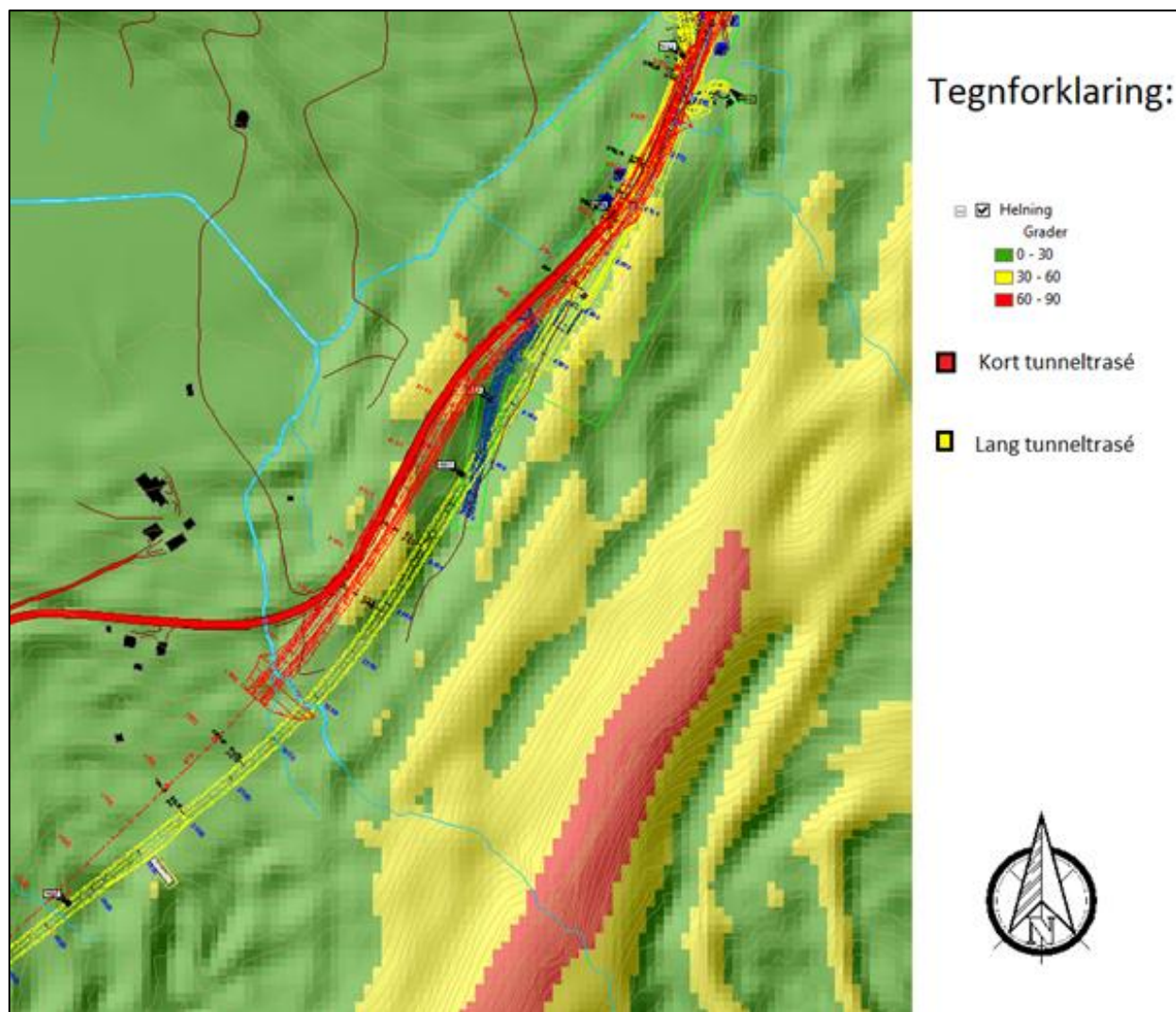
Det er to typer snøskred som kan utgjøre en fare for trafikken ved Myrmel:

- *Flaskskred* kan utløses i tørrsnø der bindinger i snødekket lager glideplan for overliggende snølag. Ved dette glideplanet overstiger skjærspenningene i snødekket skjærfastheten (Norem, 2011) og store flak med snø settes i bevegelse samtidig.
- *Sørpeskred* utløses av store mengder våt snø der porer i snøen som ved tørrsnø er fylt med luft, blir vannmettet og gir en liten kohesjon som fører til at skred kan løsne (Norem & Sandersen, 2012). Et sørpeskred har de samme egenskapene som et flomskred. Det kan løsne i terrenghellning helt ned mot 5 grader.

Ut fra snømengden gjennom året og feltundersøkelser om vinteren kan man finne ut om faren for snøskred er tilstede. Er snøskredfaren tilstede, kan det være aktuelt å regne ut maksimal utløpssone ved hjelp av alfa-beta-metoden for snøskred (Lied & Bakkehøi, 1980) eller ved modellering.

Ved å studere kartverktøy over maksimal årlig snødybde utviklet av NVE, ser vi at maksimal snødybde ved Myrmel ligger mellom 50-100 cm (NVE, 2015b). Dette i seg selv er nok til å utløse snøskred som overgår Statens Vegvesen sin risikoaksept, som sier at massene må kunne sperre veien for å vurderes som en fare, altså over 10 m³ (Statens Vegvesen, 2014).

Terrenghellingen over påhoggsalternativ for kort trasé går fra å være over 60° , der større mengder snø ikke vil feste seg (Norem, 2011), til å være under 28° ned mot påhogget (*Figur 42*), altså ikke ansett som løснеområde for snøskred. I mellompartiet, gult felt, kan potensielle snøskred bli utløst. Over påhogg til lang trasé har øverste løснеområde helning over 60° , neste parti er slakt, godt under 30 grader, mens siste heng mot tunnelinnang er over 30° og kan være et potensielt utløsningsområde. Det siste hengt har likevel tett vegetasjon som gjør at snøskredfaren svekkes.



Figur 42: Helningskart med verdier for snøskred-utløsningsområde($+30^\circ$) og område hvor snø ikke kan akkumuleres ($+60^\circ$).

Det finnes ingen tegn til at det har vært snøskredaktivitet i området. Dette støttes av NVE sin kartlegging av skredhendelser i kartverktøyet Skrednett (NVE, 2015a).

Konklusjonen blir at snøskredfaren vurderes som innenfor akseptabel risiko for bygging av vei.

6.5.2 Jord og flomskred

Jordskred og flomskred må vurderes utfra feltundersøkelser og undersøkelser av nedbørsmengde i området. Flomskred blir utløst av store mengder vann i bratt terreng, ofte i og rundt elveløp brattere enn 25 grader. Jordskred er løsmasser utløst av uvanlig høyt poretrykk i bakken utenfor definerte vannveier, med helning normalt brattere enn 30 grader, med unntak ned mot 20 grader. (NVE, 2013)

På NVE sitt aktsomhetskart for flom og jordskred (NGU, 2014) er det skravert et aktsomhetsområde ved påhoggsalternativ for lang trasé. Vurdering av nedbørsmengde i området sett utfra kartverktøyet seNorge viser store nedbørsmengder gjennom året. Tunnelområdet har årlig nedbørsmengde på 2 000-4 000 mm, mens fjellområdet over passerer 4 000 (NVE, 2015c). Fremskrivinger av nedbørsmengde frem mot år 2100 viser at årsnedbøren over hele landet vil øke med 5-30 % (Hanssen-Bauer, et al., 2009). Allerede store nedbørsmengder i tillegg til stigende nedbørsmengder i fremtiden gjør at analyser av denne typen skredfare er viktig.

Utfra feltundersøkelser vurderer vi det nederste bratte henget mot tunnelpåhogg for lang trasé som området med størst fare for jordskred. Dette er et heng over 30 grader, med noen mindre vannveier i overflaten. Henget er skogkledd med granskog, som tilsier et tynt jordsmonn uten stor metning av vann. Over nåværende veiskjæring, som strekker seg fra tunnelpåhogg for kort trasé, finnes også partier med helning over 30 grader. Løsmassekartet (*Figur 4* kap. 3.2) viser bart fjell, der fjell i dagen dominerer, men tynt humusdekke over fjell og flekkvis mindre av andre løsmassetyper kan ligge i forsenkninger.

Vi konkluderer med at jordskred mot vei utfra nåværende topografi ikke er sannsynlig i området. Større og lengre veiskjæringer i forbindelse med tunnelbygging kan føre til partier der utglidning av løsmasser over 10 m³ kan forekomme (Statens Vegvesen, 2014). Dette kan utfra en risikomatrise gi en utolerbar strekningsrisiko som i en reguleringsplan krever sikringstiltak.

Sikringstiltak som kan forhindre erosjon og utglidning av løsmasser i veiskjæringer kan være jordarmering for å stabilisere løsmassene, og bruk av sognemur for å holde igjen masser der mektigheten er liten. (Wangen, 2003)

6.5.3 Isras

Isras er nedfall av ismasser som dannes på grunn av sigevann i løsmasser eller vann fra sprekker i fjellskjæringer tett på veien. Dette på grunn av temperaturer rundt frysepunktet. Isras sprer seg vanligvis 3-6 meter, og sjelden mer enn 10 meter i horisontal retning. Helning for nedfall av is må være minimum 30-40 grader. (Norem, 1998)

På grunn av de høye og lange veiskjæringene som er planlagt ved begge tunnelpåhoggene vil dette være en reell fare for trafikken.

Vintertemperaturer i området rundt Myrmel ligger stort sett over 0 °C, dette gjør at akkumulasjonen av is ikke vil bli stor. Dette er også erfaringer vi gjorde oss på feltundersøkelser gjort i vinterperioden (24.03.2015). Likevel kan vannsig fra løsmasser over tunnel og veiskjæringer skape små akkumulasjoner av is, ettersom temperaturer rundt 0°C skaper fryse/tine-prosesser. Fremskrivinger av temperaturer mot år 2100 viser at årlig gjennomsnittstemperatur på vestlandet vil stige med 1,9-4,2°C der vintertemperaturene vil stige mest. Dette tyder på at utfordringer med akkumulasjon av is ved Myrmel vil bli mindre i fremtiden. (Hanssen-Bauer, et al., 2009)

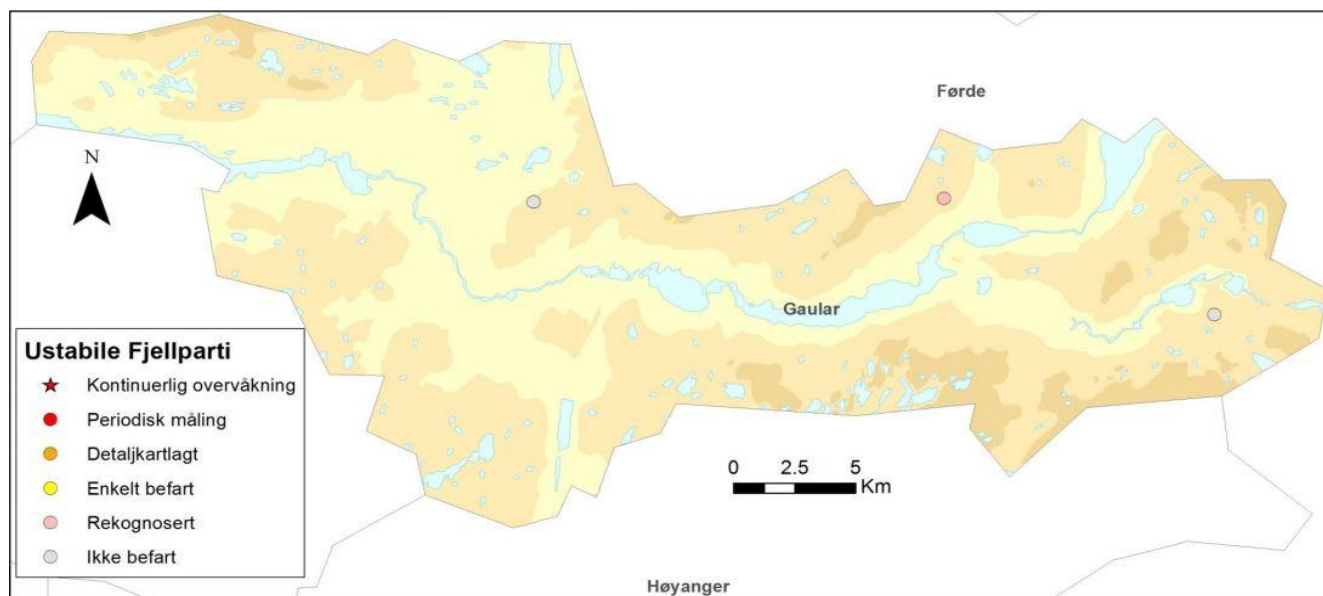
Konklusjonen er at isras utgjør liten fare for trafikken siden temperaturer oftest ligger over 0°C og vil stige i fremtiden, men at dreneringsgrøfter kan vurderes for å unngå akkumulasjon av is over veibanen.

6.5.4 Fjellskred

Definisjonen på fjellskred er utglidning av masser over 100 000 m³, eller mindre skred som drar med seg løsmasser tilsvarende volum over 100 000 m³. For å utløse et fjellskred, må visse faktorer innfris. De potensielle skredmassene må ha et glideplan, ofte et foliasjonsplan med liten friksjon. Massene må også ha nærmere vertikale sprekkesett som avgrenser bergmassen som kan gli ut. Glideplanet må også ha en vinkel som tilsier at skredmassene glir ut i dagen, uten støtte i underliggende stabil bergmasse. (NGU, 2006)

Fjellskred kan potensielt være en fare i området siden det er en bratt fjellside over tunnelpåhoggene. Det er utført kartlegging av mulig ustabile fjellpartier i Sogn og Fjordane (Hermanns, et al., 2013).

Ut fra denne kartleggingen kan vi konkludere med at områdene ved Myrmel ikke er vurdert som utsatt for fjellskredfare (*Figur 43*). Ut fra strøk og fall-målinger vi har utført i området, finner vi heller ingen sprekkeseff eller foliasjonsplan som kan danne glideflate for utglidning av bergmasser over 100 000 m³.



Figur 43: Bildet viser mulig ustabile fjellparti i Gaular kommune. Punktet markert som ikke befart er fjellpartiet over Myrmel. (Hermanns, et al., 2013)

6.5.5 Steinsprang

Steinsprang er betegnelsen på masser av stein under 100 000 m³ (Bondevik, 2014), som løsner fra et kildeområde i en bratt fjellside, oftest brattere enn 45 grader. I utgangspunktet er det ugunstige kombinasjoner av foliasjon- og/eller sprekkeretninger som fører til steinsprang.

Medvirkende årsaker til steinsprang er:

- Store mengder nedbør på kort tid
- Fryse/tine-prosesser
- Vanntrykk i sprekker
- Rotsprenging fra trær

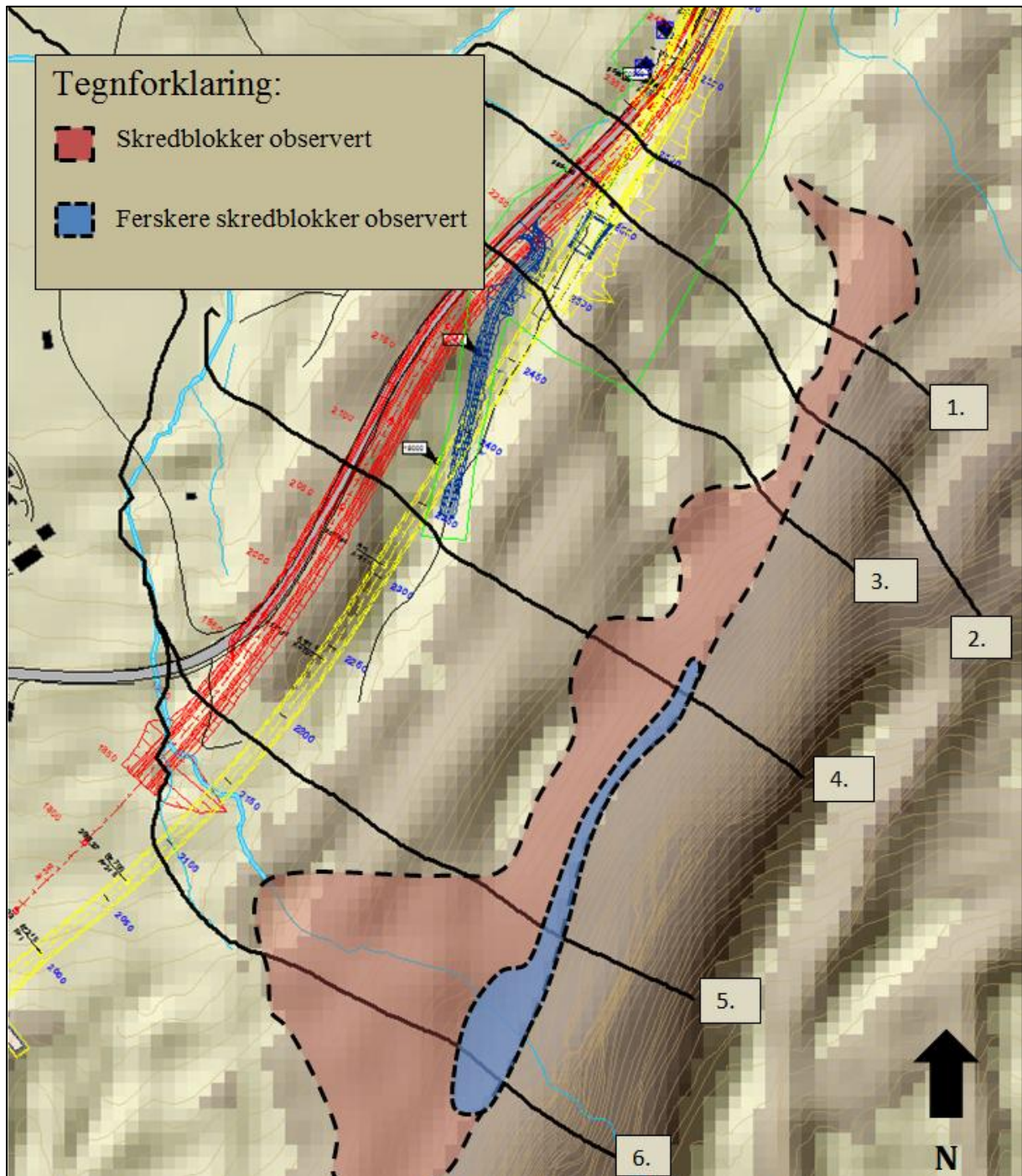
(Håland, 2012)

Over begge påhoggsalternativene står en steil fjellvegg (*Figur 44*) som utløsningsområde for steinsprang, uten at vi ser tydelige områder i fjellsiden hvor ferske steinsprang genereres.



Figur 44: Bildet viser fjellsiden som kan skape skredproblematikk på Myrmel sett fra nord. Utløsningsområdene til skredbanene vi har modellert, befinner seg innenfor markert område (rødt). Foto: Tor Takle Bore)

Løsmassekartet viser store mengder skredmateriale og ur ved foten av fjellveggen, noe vi fikk bekreftet under våre feltundersøkelser. Skredmaterialet i området er godt igjengrodd, men med noen ferskere blokker i uravsetningene opp under den steile fjellveggen. Blokker ble registrert lengst ned mot vei ved elveleie i retning påhogg for kort trasé, men ingen blokker ble registrert i nærhet av planlagte tunneltraséer eller vei i dagen (Figur 45).



Figur 45: Oversikt over skredbaner (1-6) simulert med RocFall og observasjoner av skredblokker i felt. Kort tunneltrasé er markert i rødt, mens lang er markert gult.

For å bekrefte og underbygge resultatene fra felt, har vi modellert seks mulige skredbaner (*Figur 45*) ved hjelp av programmet «RocFall». Programmet simulerer en skredbane og estimerer utløpslengden ved hjelp av bratthet til terrenget, terrengoverflate og størrelse på eventuelt steinsprang.

Vi har utført simuleringer av utløpsdistansene til seks skredbaner. Simuleringene følger fjellsiden fra nord mot sør, der simulering 1 og 2 er utført mot vei i forkant av tunnelpåhogget til lang trasé.

Tabellen viser verdiene vi har brukt for å beregne utløpsdistansen til steinsprang ved traséene 1-6. Underlaget har vi vurdert utfra løsmassekart og egne feltobservasjoner. Verdiene er hentet fra (Pfeiffer & Bown et. al, 1985-1996; Henriksen, 2015; Bertelsen, 2009).

Tabell 7: RocFall verdier.

	Rn	Rt	F	Standard- avvik (R_n)	Standard- avvik (R_t)	Standard- avvik (F)
Bart fjell	0,5	0,95	30	0,04	0,07	3
Ur med vegetasjon/ skredmateriale	0,32	0,8	33	0	0	3
Myr	0,3	0,8	34	0	0	3
Forvittringsmateriale/ morene	0,47	0,53	33	0,3	0,23	3

I felt vurderte vi de største skredblokkene i området til å være ca. 2 m^3 . Vi valgte derfor å simulere steinsprang på denne størrelsen i RocFall. Den horisontale hastigheten i det en blokk løsner er satt til 1,5 m/s med standardavvik på 0,15. Vertikal- og rotasjonshastigheten er satt til null. (Rocscience, Inc., 2015b)

Simuleringene våre er vist i *vedlegg 9-14*. De viser tydelig at ingen av skredbanene vil gi steinsprang på 2 m^3 en utløpsdistanse som utretter en fare for vei i dagen. Simuleringene viser en utløpsdistanse som gjør at skredmaterialet blir en del av det vi regner som ur i våre feltobservasjoner (*Figur 45*). Dette viser at skredmateriale observert nærmere vei, med samme underlag som brukt i simuleringene, må ha hatt betydelig større masse i utløsningsområdet, men fragmentert før det har stoppet opp.

En fullstendig risikovurdering av skred mot vei ender opp i en risikomatrise. Sannsynligheten for steinsprang som når vei i dagen er etter vår vurdering $<1/1\,000$ pr. år. Konsekvens beregnes utfra trafikkmengden langs denne strekningen. Langs E39 ved Myrmel er årlig døgntrafikk beregnet til 3 500 kjøretøy/døgn (Hynne, 2014a). Dette gir en konsekvensklasse D.

Risikovurdering av steinsprang mot vei gir en akseptabel strekningsrisiko (Figur 46). Det vil si at ingen tiltak må igangsettes.

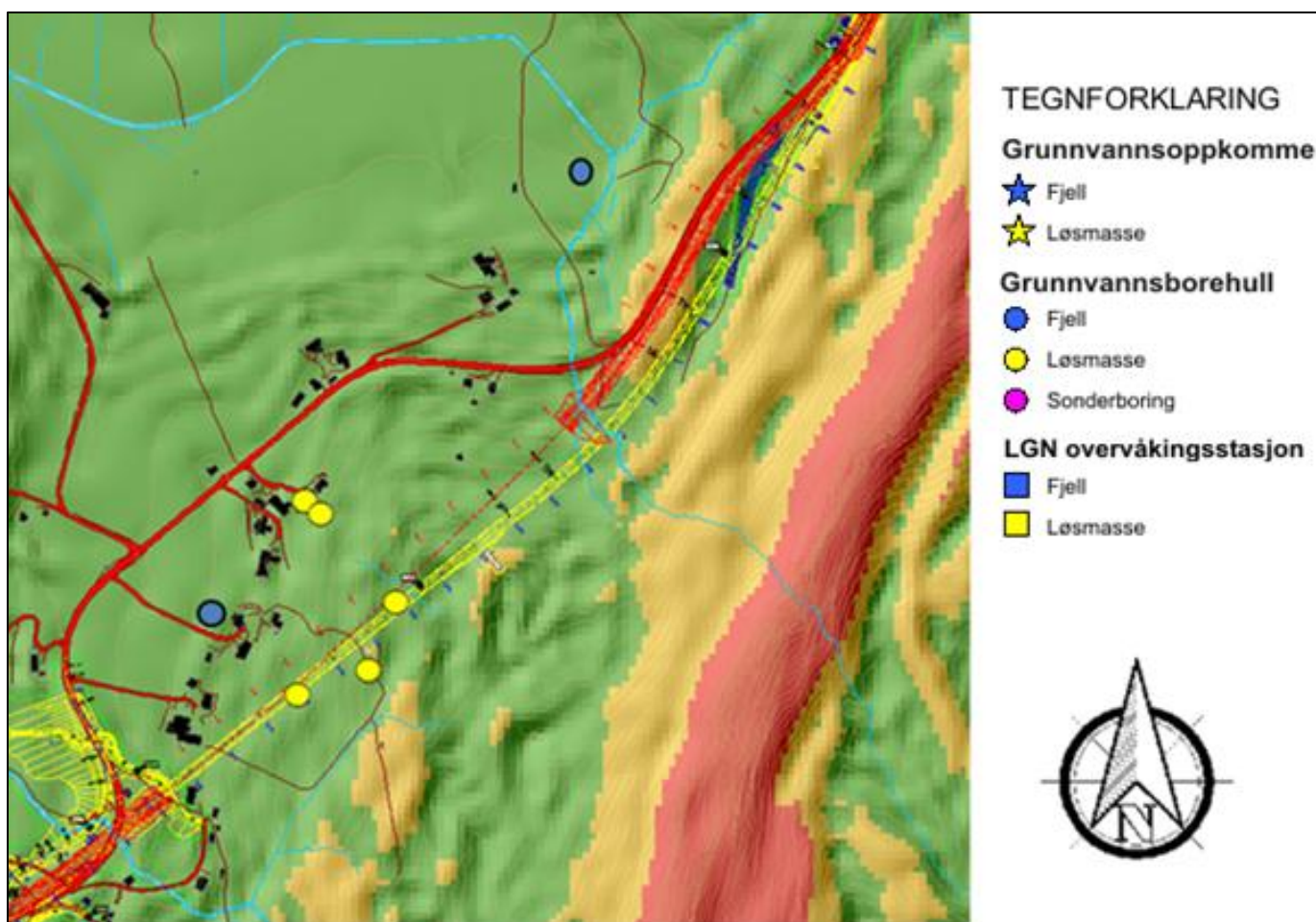
Årlig nominell skredsannsynlighet pr. enhetsstrekning	I $\leq 1/2$						
	II $\leq 1/5$						
	III $\leq 1/10$						
	IV $\leq 1/20$						
	V $\leq 1/50$						
	VI $\leq 1/100$						
Trafikkmengde (ÅDT)		A < 200	B 200 - <500	C 500 - <1500	D 1500- <4000	E 4000- <8000	F ≥ 8000
<div> <div></div> Akseptabel strekningsrisiko <div></div> Tolererbar strekningsrisiko. Aksept avhenger av skredintensitet og kost-nytte-analyse. Akseptnivå besluttet på regionledernivå. <div></div> Uakseptabel strekningsrisiko </div>							

Figur 46: Risikomatrise for skred mot vei (Statens Vegvesen, 2014). Den viser at strekningsrisiko for steinsprang mot vei er akseptabel.

6.6 Hydrologi og hydrogeologi

Hydrologi i tunnelområder kan gi ulike komplikasjoner. Et nevnt problem som kan oppstå ved bygging av tunnel er tørrelegging av brønner. Før utbygging av tunnel kan settes i gang, må Statens Vegvesen ha en oversikt over brønner i området, og om brønnene blir påvirket av tunneldrivingen. Dette grunnet oversikt over eventuelle erstatningskrav og omkostninger.

For å oppnå en fullstendig kartlegging av brønnene har vi i tillegg til å bruke brønn databasen GRANADA (NGU, 2005a), også registrert brønner med GPS som en del av vårt feltarbeid. GPS-punktene har vi så lagt inn i ArcGIS merket gult, sammen med plassering av fjellbrønnene fra GRANADA merket blått, for å lage et oversiktskart der vi ser brønnenes plassering i forhold til tunneltraséene (*Figur 47*).



Figur 47: Fjellbrønnene (blå) er hentet fra Nasjonal grunnvannsdatabase (NGU, 2005a). Løsmassebrønnene (gul) er avmerket etter GPS-punkter fra eget feltarbeid.

Det finnes sju brønner i området rundt tunnelen. Fem løsmassebrønner er registrert ved feltundersøkelser, og to fjellbrønner vist i GRANADA.

Konsekvensen ved tunnelutbygging i nærheten av løsmassebrønnene vil være åpning av sprekker i berggrunnen under løsmassene som kan tømme løsmasseakviferene for vann. Dette er mest kritisk for løsmassebrønnene som ligger rett over tunnelalternativene, siden ny oppsprekking er størst rett over tunneltraséen. Løsmassebrønnene brukes som drikkevann og/eller i gårdsdrift. Hvis det er fare for å miste vannforsyningen til løsmassebrønnene bør det settes krav til forinjeksjon som en tettemetode under tunneldrivingen for å opprettholde vannstanden i løsmasseakviferen. (Statens Vegvesen, 2010)

Fjellbrønnen i nord blir brukt som vannforsyning, mens fjellbrønnen i sør er en energibrønn. De er henholdsvis 78 og 129 meter dype, der fjellbrønnen i sør treffer vann på 60 meters dyp (NGU, 2005b). Fjellakviferene rundt de to fjellbrønnene kan bli påvirket av tunneldrivingen ved at sprengning kan åpne nye sprekker som kan føre vann i andre løp enn før, eller at selve tunnelen fungerer som et dren, og leder vann bort fra fjellakviferene. Åpning av nye sprekker kan gi både positive og negative konsekvenser for fjellbrønnene, siden nye sprekker enten kan føre mer, eller mindre vann til fjellbrønnene. Mer kritisk er det hvis vann blir ledet bort fra fjellakviferene. Er dette grunnet innlekkasje i tunnel, må det settes krav til tetting av tunnel. Dette kan også skape problemer for drivingen av tunnelen. Har sprengningen åpnet nye veier som ikke fører til fjellbrønnene, vil det kreves erstatning. Mest sannsynlig ligger fjellbrønnene i for lang avstand fra tunneldrivingen til at det vil skape store forskjeller i vanntilførsel.

Et annet problem er elva som renner forbi tunnelpåhogget for kort trasé. Dette kan løses ved å sprengne ut fjell, for så å legge ned rør for å lede vannet under kommende veitrasé. Dette vil medføre ekstrakostnader ved bygging av tunnelalternativ kort trasé. Ved bygging av lang trasé kan samme elv føre til innlekkasje i tunnel dersom sprekker åpnes ved sprengningsarbeid under tunneldriving, eller åpne sprekker allerede drenerer vann mot tiltenkt tunneltrasé. Da vil det også kreves tiltak for tetting av tunnelen.

7. Diskusjon

I diskusjonen vil vi drøfte positive og negative sider ved de to tunnelalternativene med hensyn til geologiske vurderinger av fjellkvalitet, skredfare og hydrologi. Med tanke på at steinsprangfaren på Myrmel vurderes til laveste sannsynlighet ($<1/1\ 000$ i risikomatriksen) ut fra simuleringene i RocFall, blir det viktig å se på skredproblematikk i forbindelse med undergraving av løsmasser ved veiskjæringene. Gjennom kartlegging av berggrunnen rundt de to påhoggsalternativene har vi kommet frem til at området har tre mulige svake soner. Tunneltraséene vil gå gjennom sonene på ulikt dyp. Dette kan ha stor betydning for innvirkningen til svake soner i tunneldrivingen. Overlagring og fjellkvalitet ved påhogg er også et viktig kriterium. De ulike alternativene påvirker og blir påvirket av hydrologien i området i forskjellig grad. Det er snakk om løsmassebrønner, fjellbrønner og en elv. Det blir viktig å vurdere hvilket alternativ som har minst negativ innflytelse på dette feltet.

7.1 Kort tunneltrasé

Negative faktorer:

- Kort trasé må drives gjennom to svake soner. Det vil si to partier der drivingen foregår i svak sone i 27 meter, fra sonen kommer inn i tunnelgulv til den forsvinner i tunneltak, sett at drivingen skjer fra nordlig påhogg. Den korte traséen ligger høyere i terrenget enn lang trasé, og treffer «svak sone 2 og 3» nærmere bakkenivå enn lang trasé. Det er dermed større sannsynlighet for at «svak sone 2 og 3» kan skape utfordringer for den korte traséen.
- Påhogget til kort trasé befinner seg i et område med forvittringsmateriale og liten overlagring. Tunnelen vil møte «svak sone 2» kun 15 meter etter tunnelpåhogget. Dette kan nødvendiggjøre omfattende sikringsarbeid de første 40 meter av tunneldrivingen. Om tunnelpåhogg vil trekkes mot sør for å unngå «svak sone 2», vil det først kunne ha påhogg ved profil 1810. Dette vil føre til betydelig høyere veiskjæringer rundt tunnelpåhogg.
- Vei i dagen etter kort tunneltrasé er avhengig av totalt 450 meter veiskjæring fordelt over to strekninger. Veiskjæringene krever rensk av fjellskjæring og tidvis tyngre sikringsarbeid ved områder med tett oppsprukket bergmasse. Partier har løsmasser overliggende fjellskjæringen som tidvis har helning som utgjør fare for utglidning.

- Negative hydrologiske faktorer ved kort tunneltrasé er at det må lages en løsning som fører elv ved nordlig påhogg under veibanen. Her må elven sprenges ned i berggrunnen for å unngå innstrømming ved tunneldriving. I forhold til løsmassebrønnene vil kort tunneltrasé drives gjennom berggrunnen høyere i terrenget, og har dermed større sjanse for å føre til oppsprekking av fjellet under løsmassebrønnene ved sprengning. Dette kan føre til drenering av løsmassebrønnene.

Positive faktorer:

- Den korte tunneltraséen vil kun drives gjennom to svake soner. Dette gir færre problemområder under tunneldrivingen.
- Tunneltraséen vil ikke påvirke vannstanden i nordlig fjellbrønn.
- Vi får en kortere tunneltrasé.

7.2 Lang tunneltrasé

Negative faktorer:

- Lang trasé treffer «svak sone 1». Overlagringen ved skjæringspunktet mellom tunnel og «svak sone 1» er liten. Dette partiet kan kreve tung sikring. Lang trasé treffer også «svak sone 2 og 3», som betyr at tunnelen må drives gjennom tre svake soner som hver er rundt 27 meter lange fra start i tunnelgulv til utgang i tunneltak.
- Vei i dagen etter lang tunneltrasé krever rensk av veiskjæring i et parti på 200 meter. Tidvis tett oppsprukket bergmasse kan kreve tyngre sikringsarbeid. Hvis vei i dagen ved tunnelpåhogg blir lagt inn mot nåværende naturlige skjæring, vil det føre til betydelig sikringsarbeid. Problematiske løsmasser overliggende fjellskjæringen kan rase ut i veibanen.

- Negative hydrologiske faktorer ved lang trasé er at tunnelen her også påvirker den nordligste fjellbrønnen. Sprengning under tunneldriving kan gjøre at vann føres bort fra fjellbrønnen. Det kan også oppstå problemer med innlekkasje fra elv i området, enten på grunn av åpning av nye sprekker eller allerede åpne sprekker som fører vann mot tunneltraséen. Dette kan skape problemer for tunneldrivingen, og tettetiltak vil kreves.

Positive faktorer:

- Lang trasé ligger dypere enn kort trasé, det er dermed mindre sannsynlig at lang trasé blir påvirket av «svak sone 2 og 3».
- Dagstrekningen vil bli 250 meter kortere enn ved kort trasé, og krever dermed mindre sikringsarbeid av fjellskjæring. Det vil også bli et mye kortere strekk som kan bli utsatt for jordskred ved undergraving av løsmasser overliggende fjellskjæringen.
- En dypere tunneltrasé fører til mindre oppsprekking av bergmassen mot dagen ved tunneldriving. Dermed mindre sannsynlighet for tørrlegging av løsmassebrønner.

8. Konklusjon

Målet med denne bacheloroppgaven har vært å sammenligne to tunnelalternativ ut fra geologiske vurderinger av fjellkvalitet, skredfare og hydrologi.

Etter vurderinger av skredfare har vi kommet fram til at utglidning av løsmasser over veiskjæringer er hovedproblemet. Dette problemet blir størst ved alternativet for kort tunneltrasé, siden veiskjæring langs vei i dagen her blir 250 meter lengre enn ved alternativet for lang tunneltrasé. Dette er 250 meter som krever rensk av fjellskjæring, tyngre sikring i partier med tett oppsprukket bergmasse og sikring av overliggende løsmasser.

Etter vurderinger av fjellkvalitet viser det seg at lang tunneltrasé kan få problemer med liten overlaging ved tunneldriving gjennom «svak sone 1». Lang trasé må også drives gjennom en svak sone mer enn ved kort trasé.

Kort tunneltrasé vil få problemer ved tunnelpåhogg. Her ligger «svak sone 2» tett opptil tunnelpåhogget, i tillegg til at overlagingen er liten og preget av overflateforvitring. Det vil kreves tung sikring de første 40 meter av tunneldrivingen. Vi mener dette er et viktig argument i valg av trasé. Et alternativ vil være å flytte påhogg forbi «svak sone 2», med påfølgende utfordringer med store og enda høyere veiskjæringer.

Hydrologien i området bygger opp om valget av trasé. Ved å velge kort trasé, må det sprenges ut dypere elveleie for elva som renner ved tunnelpåhogget. Kort trasé vil óg være et dårligere alternativ med tanke på de negative konsekvensene for løsmasse- og fjellbrønnene, ettersom en tunnel nærmere bakkenivå vil påvirke brønnene i større grad. Lang tunneltrasé kan oppleve innlekkasje fra elv, som kan nødvendiggjøre tetttiltak.

Vi mener at kort tunneltrasé støter på flere, og større problemer enn lang tunneltrasé. Derfor konkluderer vi med at lang tunneltrasé vil være det beste tunnelalternativet for E39 Myrmel – Lunde.

Bibliografi

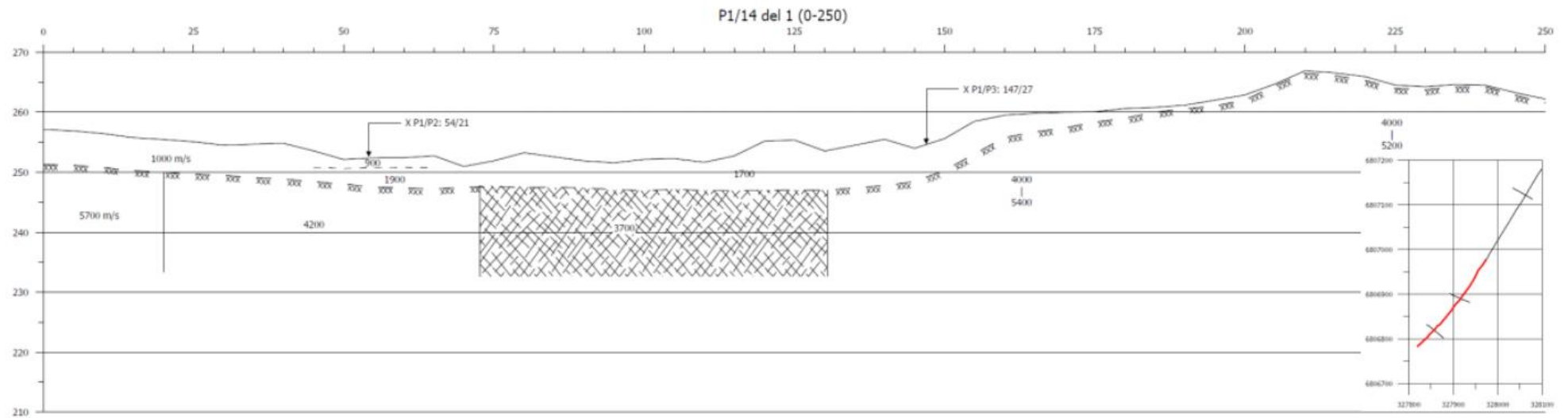
- Bertelsen, G. (2009). *ROS II - Skredfare/pilot I - Salhus*. Sweco.
- Bondevik, S. (2014, Mars 20). Lecture 8 - Rockfalls. *Geohazards*. Høgskulen i Sogn og Fjordane.
- Braathen, A., Berg, S., Storrø, G., Jæger, Ø., Henriksen, H., & Gabrielsen, R. (1999). Bruddsonegeometri og grunnvannstrøm; resultater fra bruddstudier og testboringer i Sunnfjord. I *rapport 99-017* (s. 6). NGU.
- GeoPhysix AS (2013). *Refraksjonsseismiske undersøkelser E39 Myrmel-Lunde*. GeoPhysix AS.
- GeoPhysix AS (2014). *Supplerende refraksjonsseismiske undersøkelser E39 Myrmel-Lunde*. GeoPhysix AS.
- Gjelsnes, H. C. (2013, juni). Gjennomførbarhet for bruk av TBM ved Rogfast. I *Masteroppgave* (s. 69). Trondheim: Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU.
- Hansen, S. E. (1996). *Spenningsmåling ved hydraulisk splitting, Hestad og Atløy i Sogn og Fjordane*. Trondheim: SINTEF.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E., Roald, L., Børsheim, K., Hisdal, H., . . . Ådlandsvik, B. (2009). *Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing*. Oslo: Norsk klimasenter. Hentet (19.04.15) fra <http://www.nve.no/Global/Vann%20og%20vassdrag/Effekter%20av%20klimaendringer/klima-norge-2100.pdf>
- Henriksen, H. (2015). *Geologisk vurdering av rasfare ved ny driftsbygning Gnr/Bnr 94/7, Sogndal kommune*. Asplan Viak AS.
- Hermanns, R., Molina, F. Y., Fischer, L., Dehls, J., Lauknes, T. R., & Eiken, T. (2013). *Kartlegging av ustabile fjellparti i Sogn og Fjordane. Status og Framdriftsplanar*. NGU.
- Hynne, I. (2014a). *Geologisk rapport*. Statens Vegvesen.
- Hynne, I. (2014b). *Plan og profil*. Statens Vegvesen.
- Håland, G. (2012). Skred og skredsikring. I J. Aurstad, Ø. Larsen, G. Refsdal, G. Berntsen, I. Hoff, & B. O. Lurfald, *Lærebok, Drift og vedlikehold av veger*. (s. Tilleggskapittel 23). Hentet (28.04.15) fra http://www.vegvesen.no/_attachment/404943/binary/697329?fast_title=Kap+23+Skred+og+skredsikring.pdf.
- Kleiven, A. (1975a). Kvartærgeologiske undersøkingar i Gaulardalføret, Sogn og Fjordane : 1 : Tekstbind. I *Hovedoppgave* (s. 33). Bergen: UiB.
- Kleiven, A. (1975b). Kvartærgeologiske undersøkingar i Gaulardalføret, Sogn og Fjordane : 3 : Kartbind. I *Hovedoppgave*. Bergen: UiB.
- Lied, K., & Bakkehøi, S. (1980). Empirical calculations of Snow-Avalanche Run-out Distances based on Topographical Parameters. *Journal of Glaciology*, vol. 26, No 94, ss. 165-177.
- Myrvang, A. (2001). *Bergmekanikk*. Trondheim: Institutt for Geologi og Bergteknikk, NTNU.
- NGI (2009a). *Karttjenesten Skrednett*. Hentet (09.04.15) fra www.skrednett.no

- NGI (2009b). *Aktsomhetskart snø- og steinskred*. Hentet (09.04.15) fra <http://skredatlas.nve.no/SilverlightViewer/?Viewer=NVEAtlas>
- NGI (2013). *Håndbok - Bruk av Q-systemet*. NGI.
- NGU (2005a). *Karttjenesten Granada*. Hentet (08.05.15) fra <http://geo.ngu.no/kart/granada/>
- NGU (2005b). *Karttjenesten Granada*. Hentet (08.05.15) fra <http://aps.ngu.no/pls/oradb/lhg.visbronn?pktid=302873>
- NGU (2006). *Store fjellskred i Norge*. Hentet (10.04.15) fra <http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2006/Store-fjellskred-i-Norge%282%29.pdf>
- NGU (2014). *Aktsomhetskart for jord- og flomskred*. Hentet (25.04.15) fra <http://skredatlas.nve.no/SilverlightViewer/?Viewer=NVEAtlas>
- NGU (2015a). *Refraksjonssismikk - metodebeskrivelse*. Hentet (3.04.15) fra <http://www.ngu.no/upload/Norges%20geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Seismikk/Refraksjonsseismikk.pdf>
- NGU (2015b). *Berggrunnsgeologisk kart N250*. Hentet (14.04.15) fra <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?lang=Norsk&Box=-214586:6452754:1270610:7939800&map=Berggrunn%2EN250%2Emed%2Elineamenter>
- Nilsen, O. (2005). *Linje- og planstrukturer og deres konstellasjoner i stereografisk projeksjon*. UiO. Hentet (20.04.15) fra <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/geofag/GEL2150/v07/undervisningsmateriale/STUKTURKOMP.pdf>
- Norem, H. (1998). *Sikring av vegar mot isras: årsaker til isras, samling av erfaringer, utføring av sikringstiltak*. Hordaland vegkontor.
- Norem, H. (2011). *Veger og snøskred*. Vegdirektoratet.
- Norem, H., & Sandersen, F. (2012). *Flom- og sørpeskred*. Statens Vegvesen.
- NVE (2011). *Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner*. NVE.
- NVE (2013). *Jord og flomskred*. Hentet (22.03.15) fra http://www.naturfare.no/_attachment/506973/binary/819611
- NVE (2015a). *Skredhendelser*. Hentet (26.03.15) fra <http://skredatlas.nve.no/SilverlightViewer/?Viewer=NVEAtlas>
- NVE (2015b). *Karttjenesten seNorge - snø*. Hentet (08.03.15) fra www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=snow
- NVE (2015c). *Karttjenesten seNorge - klima*. Hentet (11.03.15) fra <http://www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=weather>
- Pfeiffer, T., & Bown et. al, T. (1985-1996). *Computer simulation of RocFall*. Hentet (11.04.15) fra https://www.roscience.com/help/rocfall/webhelp/baggage/rn_rt_table.htm

- Rocscience inc. (2015a). [*RocFall V0.5*]. Hentet (17.04.15) fra www.rocscience.com/products/12/RocFall
- Rocscience inc. (2015c). [*Dips V6.0*]. Hentet (20.05.15) fra <https://www.rocscience.com/products/1/Dips>
- Rocscience, inc. (2015b). *Tutorial 1 - Quick Start*. Hentet (29.04.15) fra https://www.rocscience.com/help/rocfall/webhelp/pdf_files/Tutorials/Tutorial_01_Quick_Start.pdf
- Statens Vegvesen (1997). Håndbok R211 - Feltundersøkelse. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen (2010). Håndbok 021 - Vegtunneler. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen (2011). Håndbok 018 - Vegbygging. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen (2014). *Retningslinjer for risikoakseptkriterier for skred på veg*. Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen (2015a). *Tunneler*. Hentet (03.05.15) fra www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Tunneler
- Statens Vegvesen (2015b). *ArcGis rådata (tunneltrasé, høydekoter, vei, vann mm.)*.
- Trimble Navigation Limited (2015). [*SketchUp 2015*]. Hentet (05.03.15) fra www.sketchup.com/download
- Wangen, O. (2003). Litt om vegbygging i ur. I *Intern rapport 2334*. Statens Vegvesen. Hentet (05.04.15) fra http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190364/intern_rapport_2334.pdf?sequence=1

Vedlegg

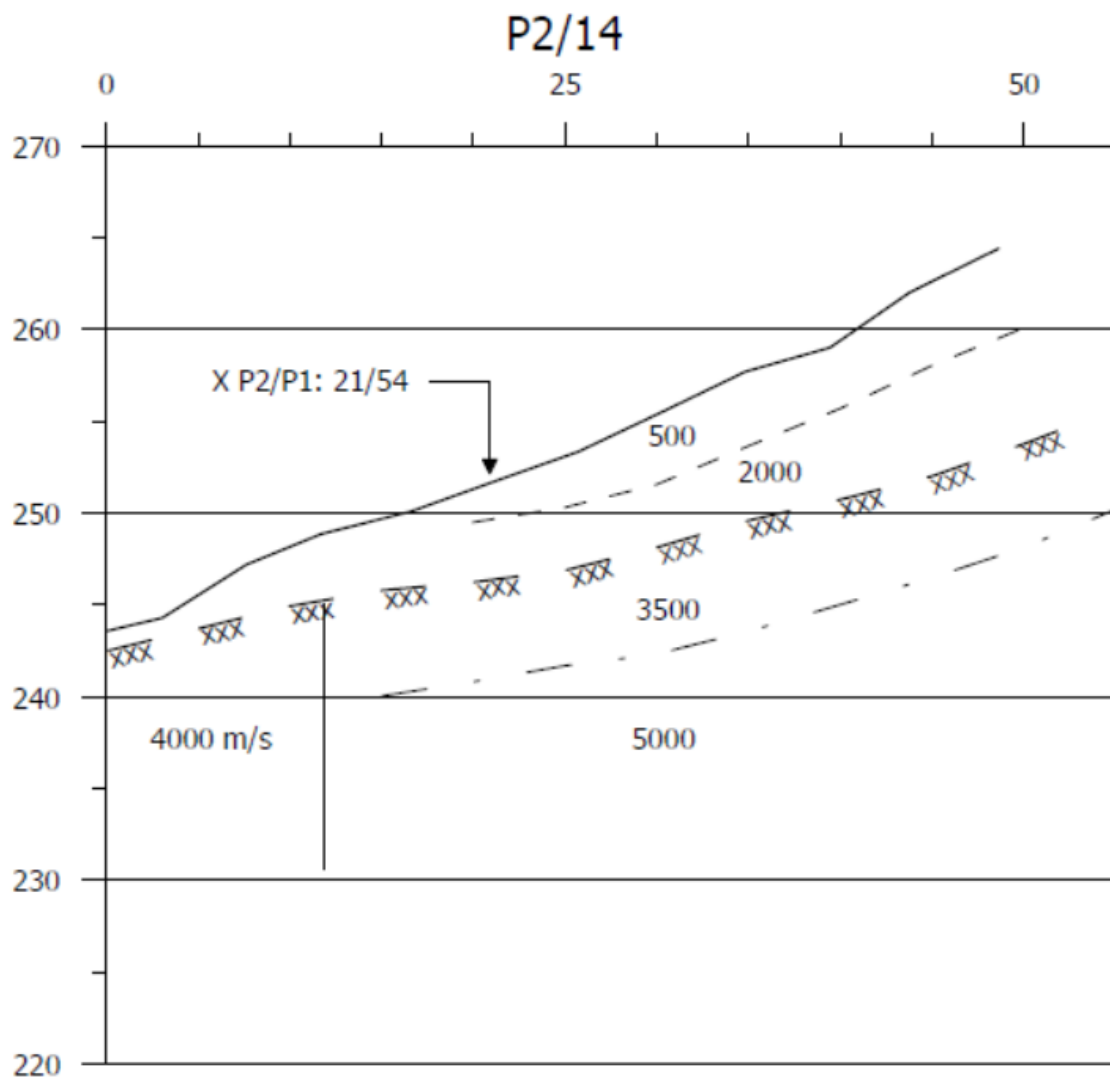
Vedlegg 1



Kilde: (GeoPhysix AS, 2014)

Seismikkprofil *P1/14 - del 1* viser en 55-meter lang sone med hastighet 3 700 m/s. Det tyder på at den svake sonen skjærer seismikkprofilet i dette området.

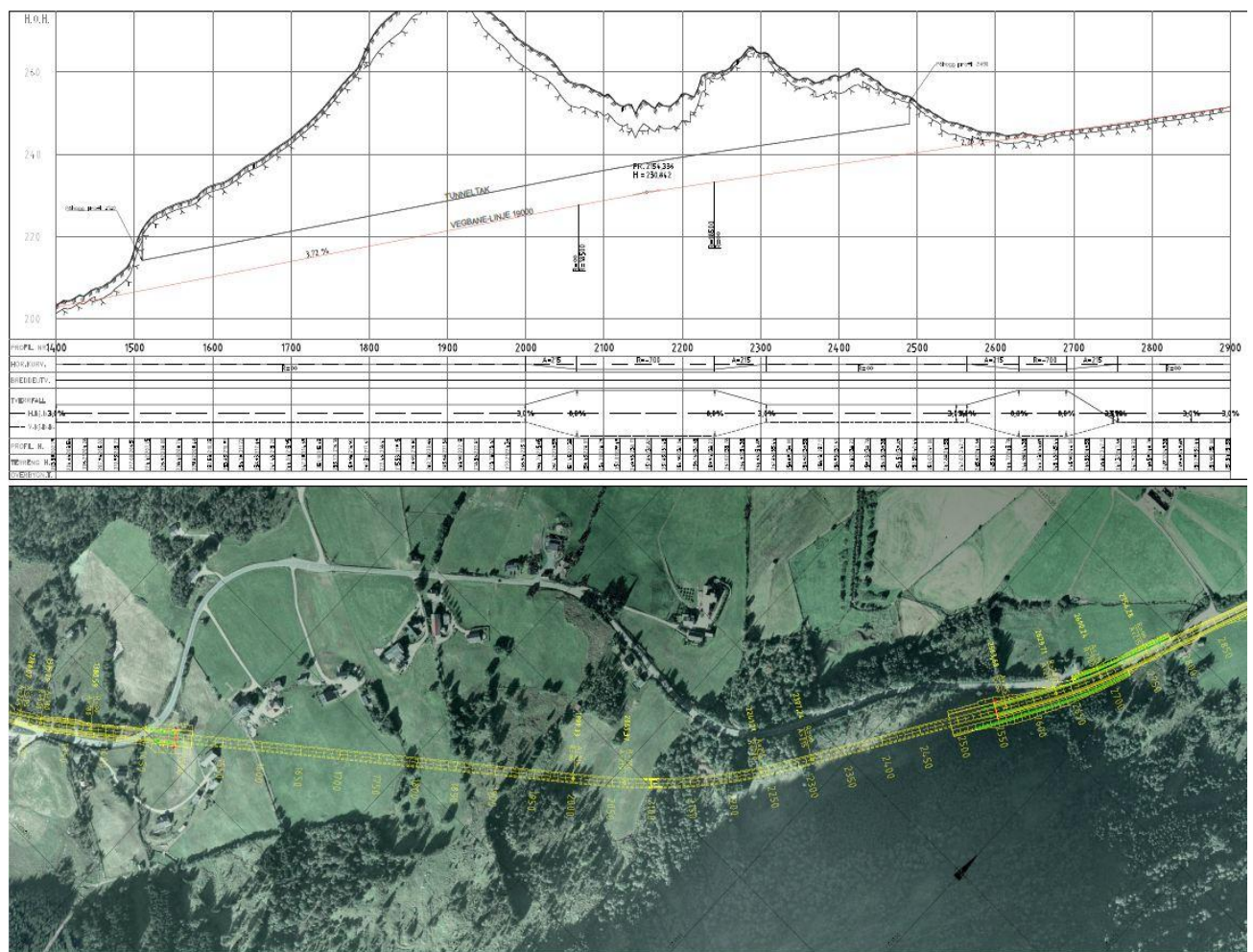
Vedlegg 2



Kilde: (GeoPhysix AS, 2014)

Seismikkprofil *P2/14* viser et område med noe lavere hastighet fra 0-10 m. Profilet har og en lavere hastighet de øverste 5 meterne av berggrunnen, 3 500 m/s.

Vedlegg 3



Kilde: (Hynne, 2014b)

Profil av lang tunneltrasé og flyfoto med inntegnet lang trasé i gult.

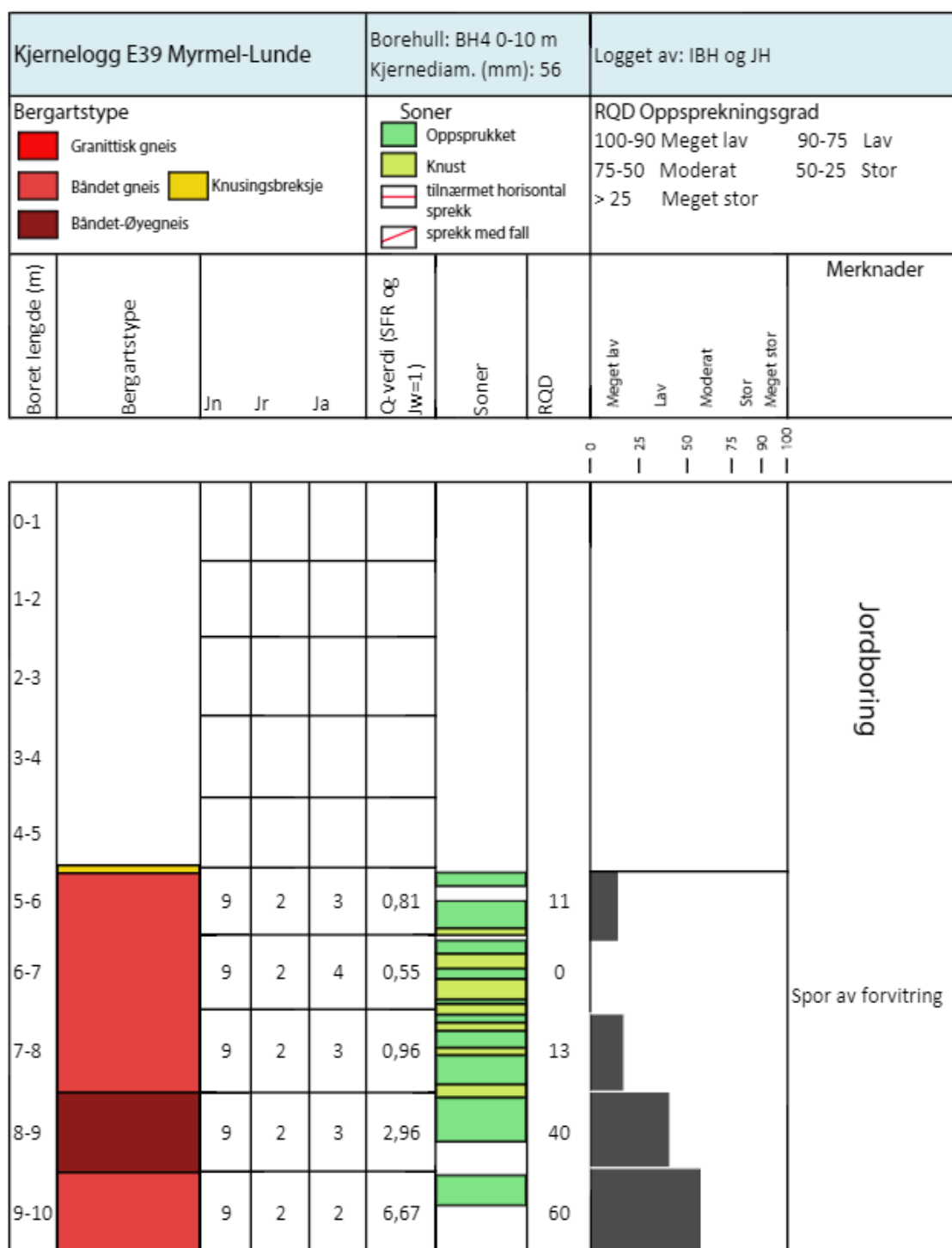
Vedlegg 4

Kjernelogg E39 Myrmel-Lunde					Borehull: BH3 6-16 m Kjernerdiam. (mm): 56		Logget av: JHA							
Bergartstype					Soner		RQD Oppsprekningsgrad							
<div><div></div> Granittisk gneis</div> <div><div></div> Båndet gneis<div></div> Knusingsbreksje</div> <div><div></div> Båndet-Øyegneis</div>					<div><div></div> Oppsprukket</div> <div><div></div> Knust</div> <div><div></div> tilnærmet horisontal sprekk</div> <div><div></div> sprekk med fall</div>		100-90 Meget lav 90-75 Lav 75-50 Moderat 50-25 Stor > 25 Meget stor							
Boret lengde (m)	Bergartstype	Jn	Jr	Ja	Q-verdi (SFR og Jw=1)	Soner	RQD	RQD			Merknader			
								Meget lav	Lav	Moderat	Stor	Meget stor		
								0	25	50	75	90	100	
6-7	<div></div>	15	1,5	4	0,88	<div></div>	35	<div></div>					Jordboring ned til ca. 6 m	
7-8		15	1,5	4	0,5	<div></div>	20	<div></div>						
8-9		9	2	4	1,39	<div></div>	25	<div></div>						
9-10		9	2	3	2,59	<div></div>	35	<div></div>						
10-11		9	2	3	4,44	<div></div>	60	<div></div>						
11-12		6	3	3	8,33	<div></div>	50	<div></div>						
12-13		4	2	2	13,8	<div></div>	55	<div></div>						
13-14	<div></div>	20	2	4	0,25	<div></div>	10	<div></div>					Ingen kjerne	
14-15	<div></div>	9	2	3	3,33	<div></div>	45	<div></div>						
15-16	<div></div>	9	2	4	1,94	<div></div>	35	<div></div>					Ingen kjerne	

Kilde: (Hynne, 2014a)

Tolking av borekjerne gjennomført av Statens vegvesen. Segmentet 13-16 meter antas å være fra «svak sone 2».

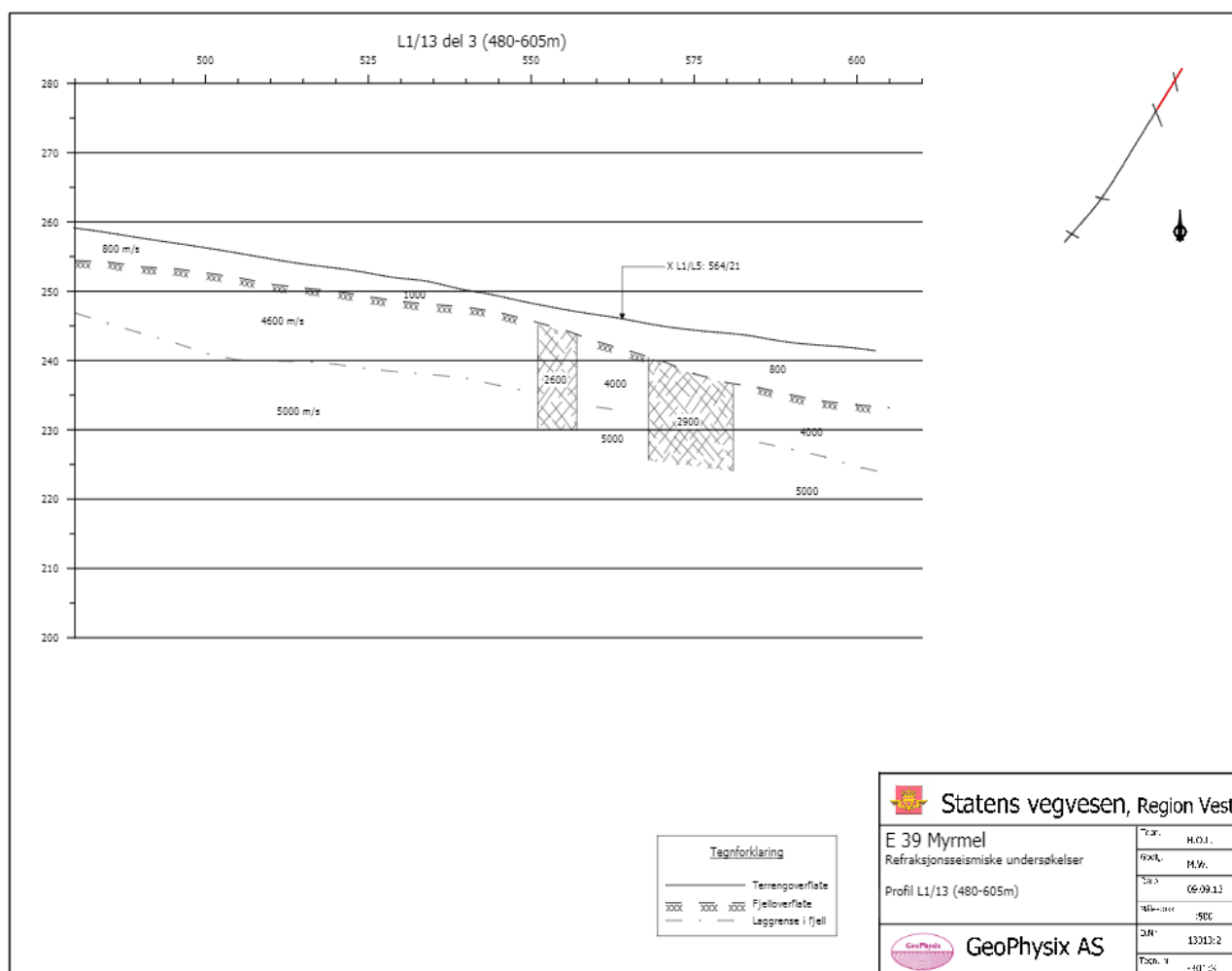
Vedlegg 5



Kilde: (Hynne, 2014a)

Tolkning av kjernelogg gjennomført av Statens vegvesen. Loggen viser 5 meter med jordboring før vi når fjell. Fjellet er svært svakt oppsprukket og har spor etter forvitring de neste 3 meterne. Det er i dette området påhogget til kort trasé befinner seg.

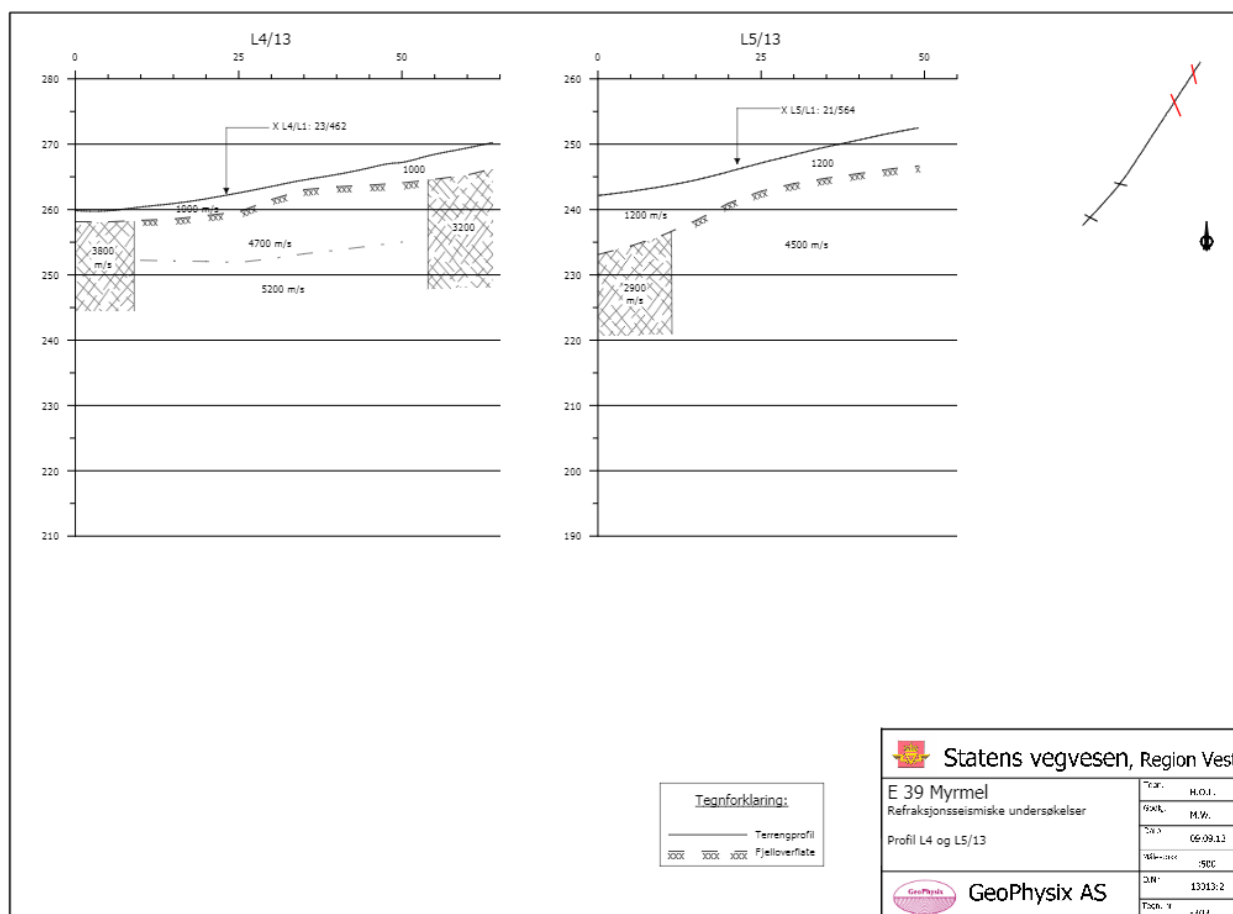
Vedlegg 6



Kilde: (GeoPhysix AS, 2013)

Seismikkprofilen (L1/13 - del 3) viser to soner med lavere hastighet, 2 900 m/s og 2 600 m/s. Vi tolker også området mellom som sone med lav hastighet.

Vedlegg 7

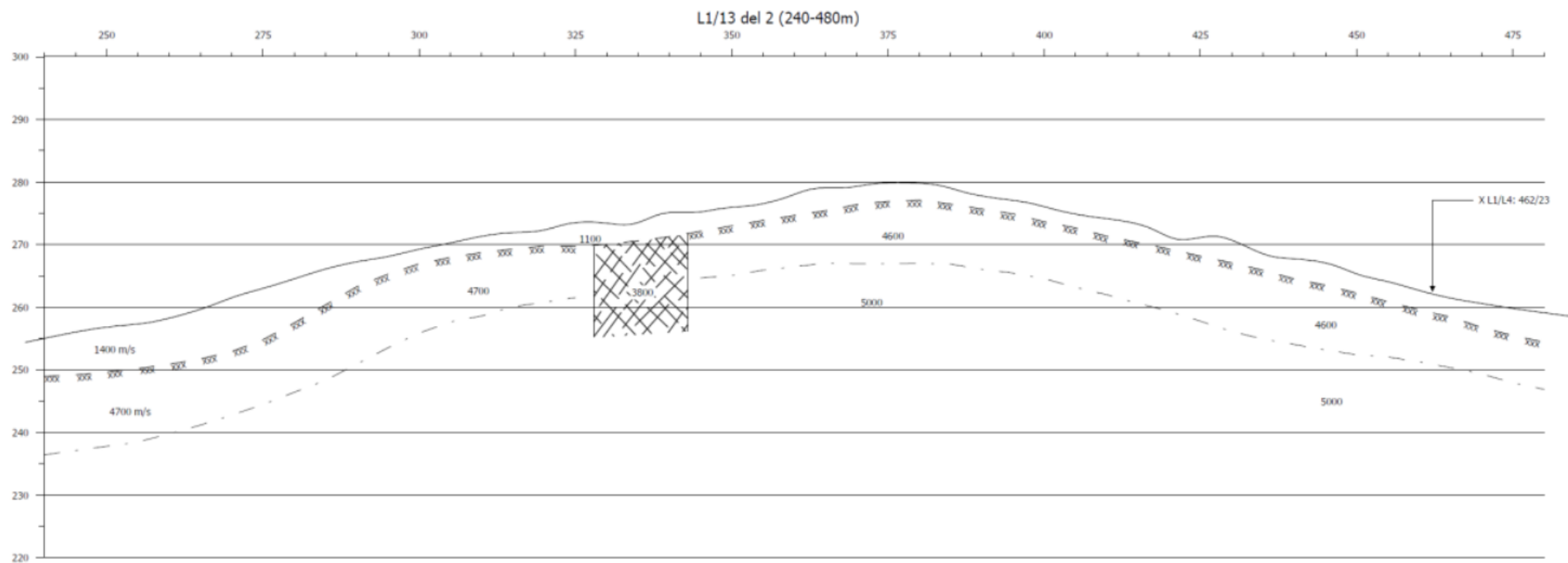


Kilde: (GeoPhysix AS, 2013)

Seismikkprofil L4/13 viser to soner med lav hastighet, først en på 3 800 m/s, senere en på 3 200 m/s. «Svak sone 2» skjærer seismikkprofil L4/13 ved sonen med hastighet 3 200 m/s fra 53-70 m.

Seismikkprofil L5/13 viser en sone med hastighet 2 900 m/s fra 0-10 m. «Svak sone 2» skjærer profilet gjennom denne sonen.

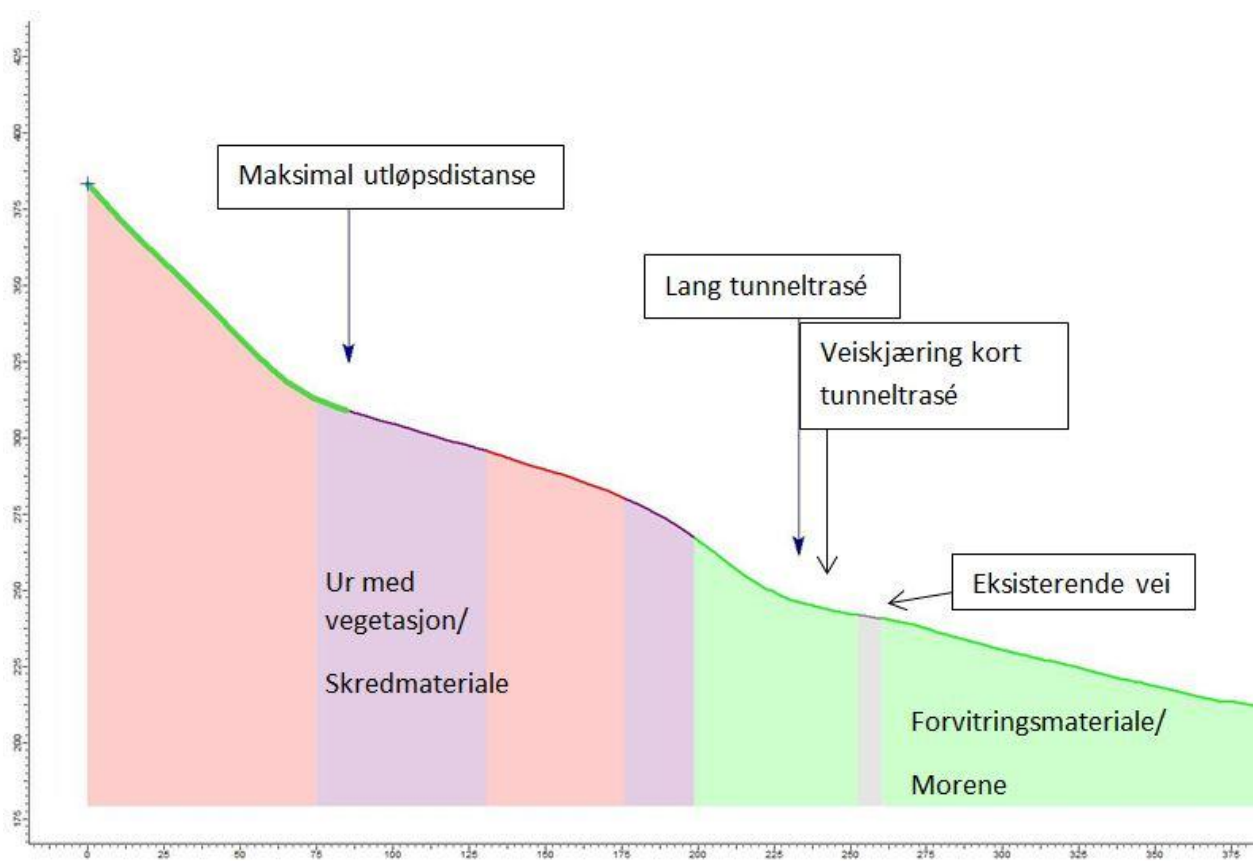
Vedlegg 8



Kilde: (GeoPhysix AS, 2013)

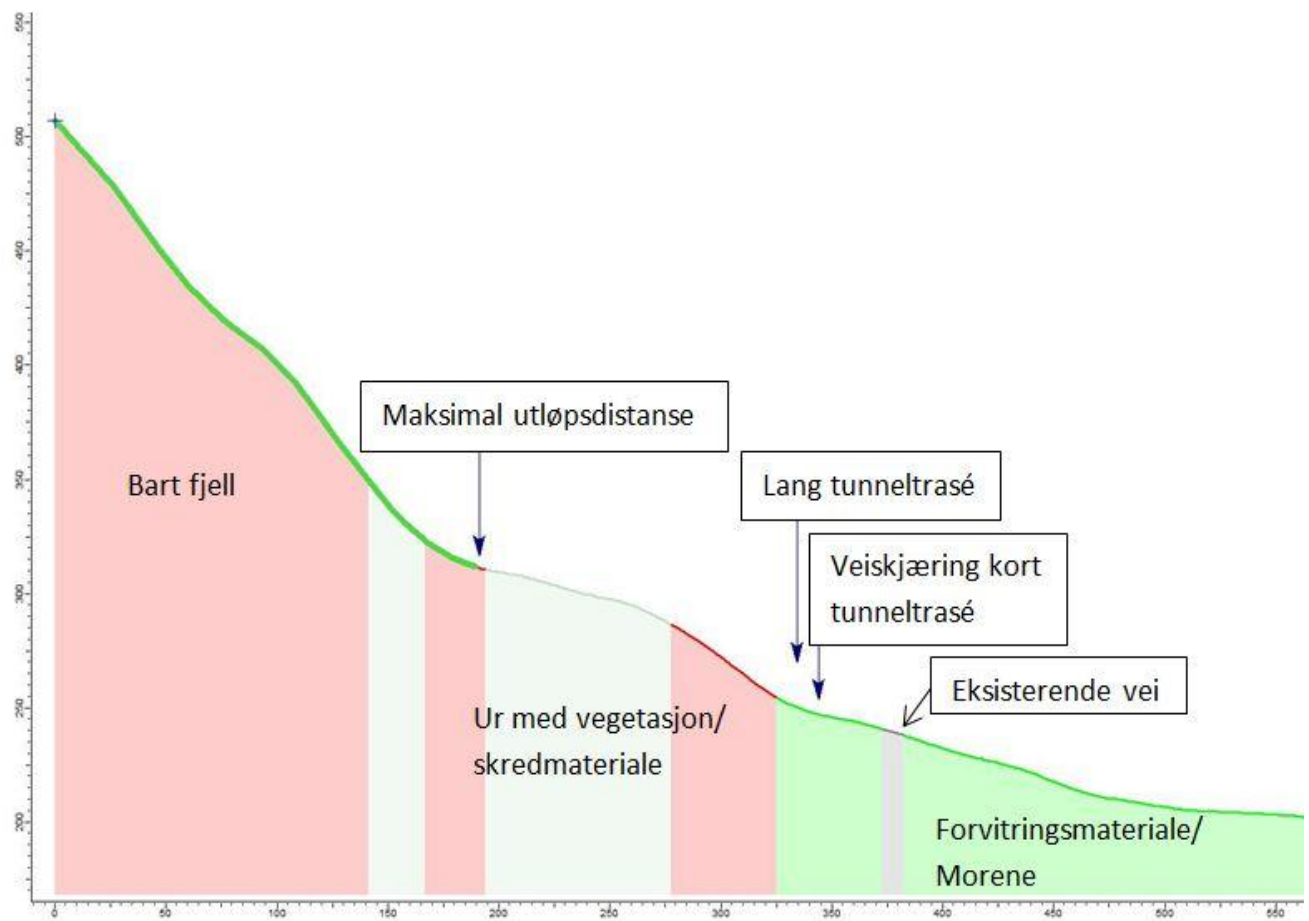
Seismikkprofil(L1/13 - del 2) viser et segment med hastighet 3 800 m/s. Dette segmentet antas å være «svak sone 3».

Vedlegg 9



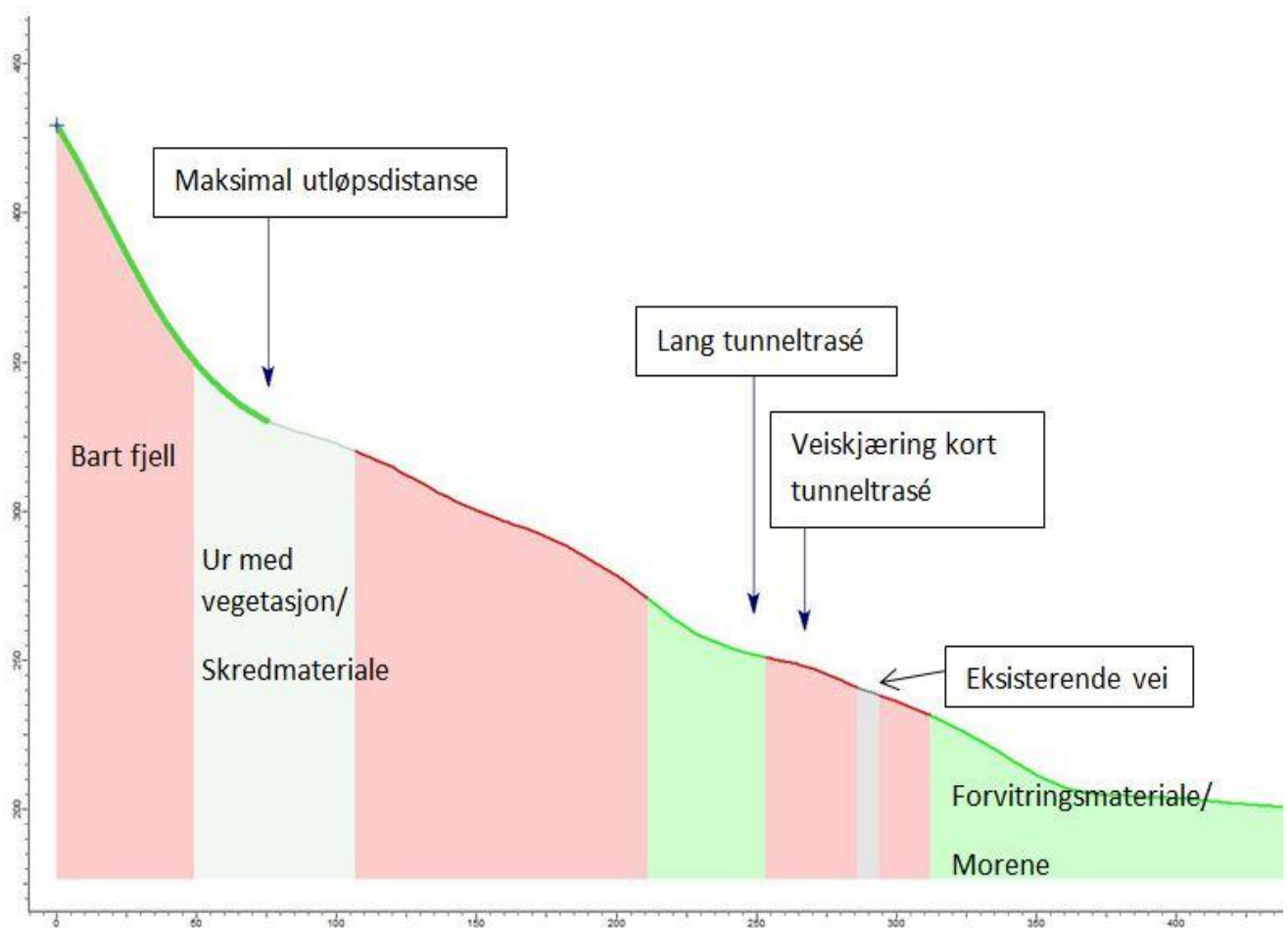
Profil 1: Viser utløpsdistanse til blokestørrelse på 2 m^3 . Fargene på grafen representerer løsmassetyper og bart fjell. Denne grafen representerer skredbanen lengst nord på Myrmel.

Vedlegg 10



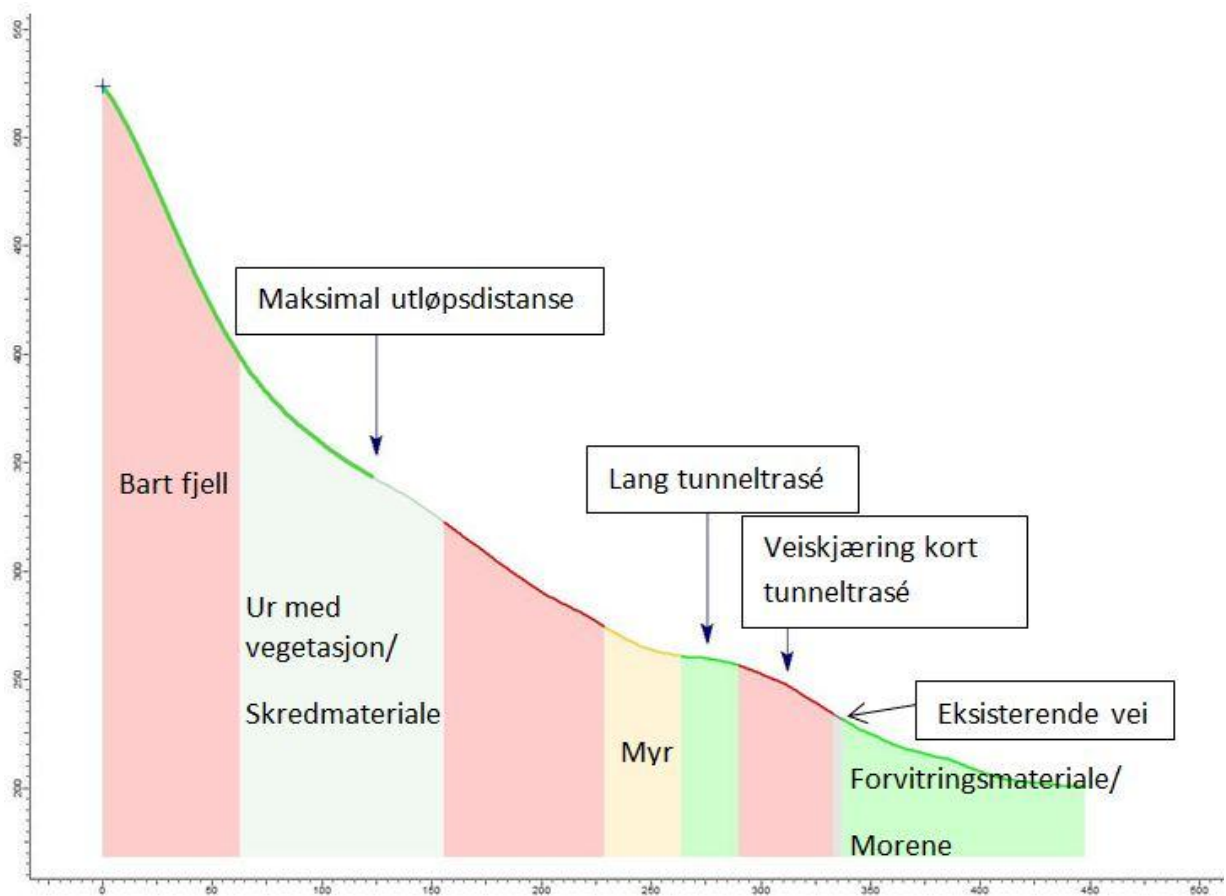
Profil 2: Viser utløpsdistanse til blokestørrelse på 2 m^3 . Fargene på grafen representerer løsmasetyper og bart fjell.

Vedlegg 11



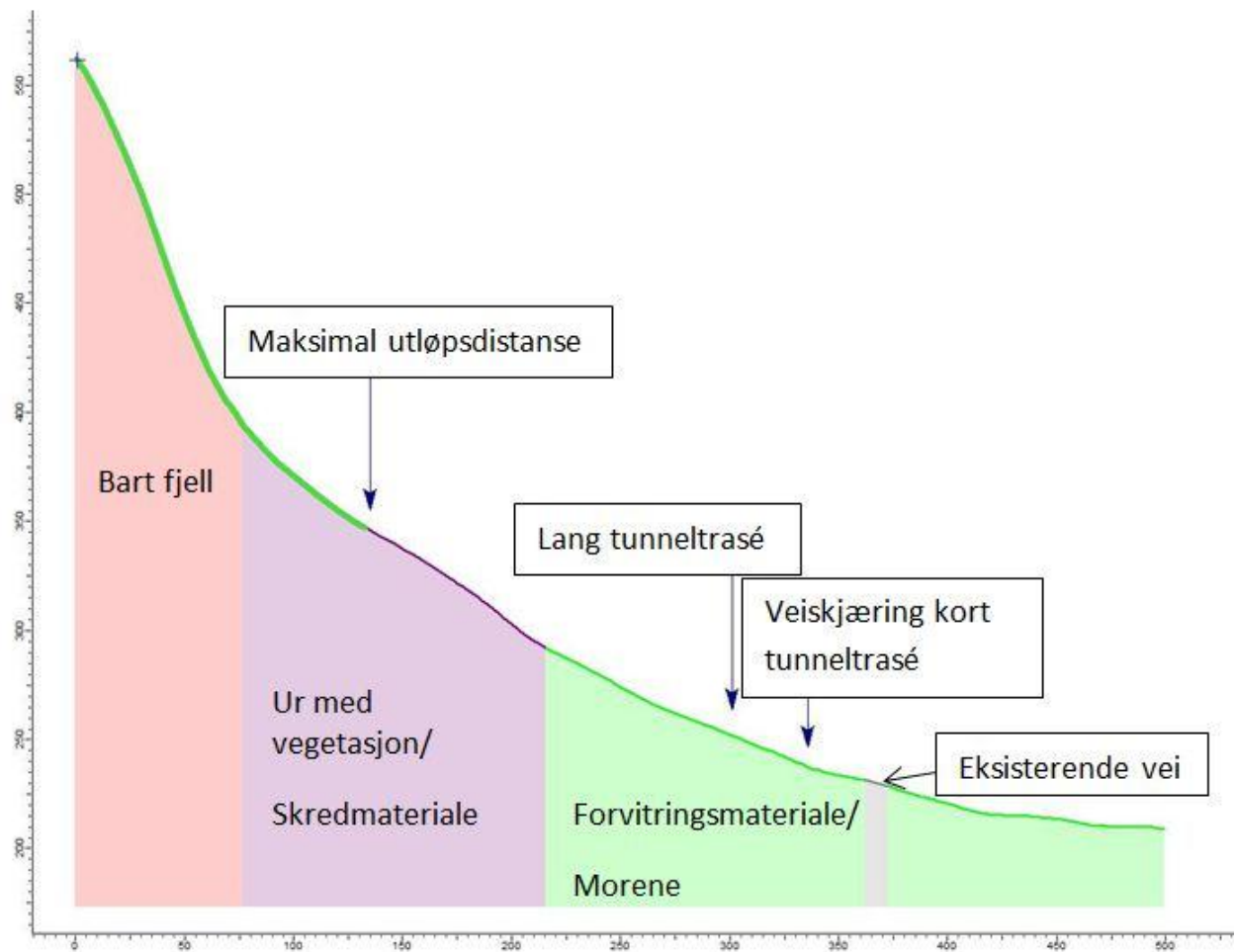
Profil 3: Viser utløpsdistansen til blokestørrelse på 2 m^3 . Fargene på grafen representerer løsmassetyper og bart fjell.

Vedlegg 12



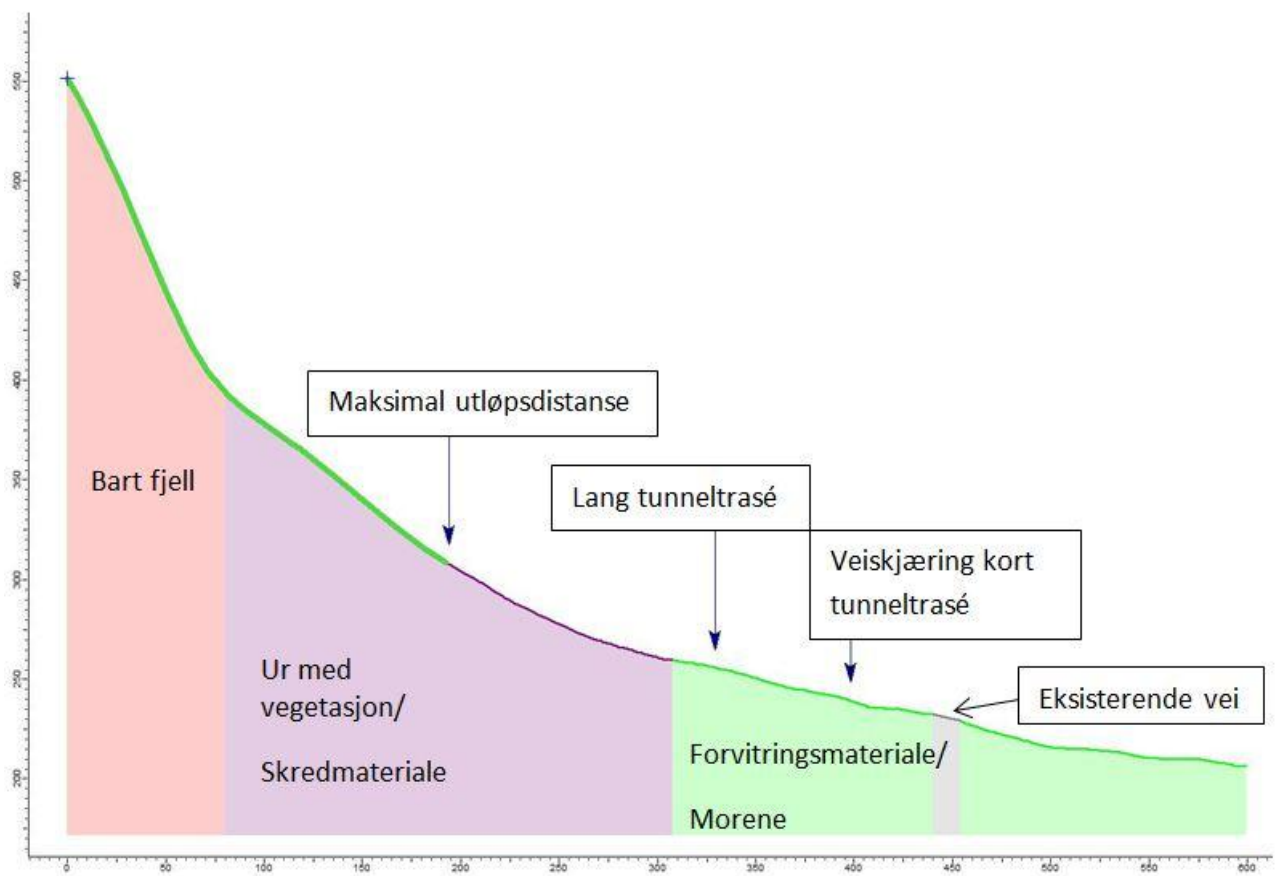
Profil 4: Viser utløpsdistansen til blokestørrelse på 2 m^3 . Fargene på grafen representerer løsmassetyper og bart fjell.

Vedlegg 13



Profil 5: Viser utløpsdistansen til blokestørrelse på 2 m^3 . Fargene på grafen representerer løsmassetyper og bart fjell.

Vedlegg 14



Profil 6: Viser utløpsdistansen til blokestørrelse på 2 m^3 . Fargene på grafen representerer løsmassetyper og bart fjell.

Vedlegg 15

Tabell 8: Strøk- og fallmålinger. Strøk etter himmelretning og fall i helningsgrader.

Nr.	Strøk	Fall	Nr.	Strøk	Fall	Nr.	Strøk	Fall
1	360	35	21	110	78	41	300	82
2	310	90	22	200	80	42	320	30
3	360	90	23	350	30	43	220	70
4	185	82	24	200	80	44	300	80
5	330	25	25	120	75	45	194	78
6	360	30	26	330	18	46	130	74
7	120	80	27	195	75	47	194	88
8	202	88	28	28	18	48	128	80
9	112	78	29	110	80	49	325	18
10	350	25	30	360	25	50	190	80
11	360	30	31	190	75	51	320	30
12	320	18	32	90	75	52	330	35
13	300	90	33	290	18	53	10	85
14	200	85	34	190	83	54	70	50
15	25	18	35	118	70	55	35	85
16	195	80	36	20	90	56	360	30
17	300	75	37	153	30			
18	330	20	38	112	70			
19	20	86	39	200	85			
20	320	25	40	300	30			